

ROBERTO MARTINS

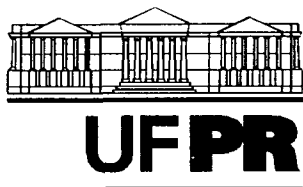
**CONTRIBUIÇÃO DA RESERVA DE POTÁSSIO NA NUTRIÇÃO E
PRODUÇÃO DO TRIGO EM SOLOS DO MUNICÍPIO DE CASTRO,
ESTADO DO PARANÁ.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de “Magister Scientiae”, Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Vander de F. Melo

CURITIBA

2002



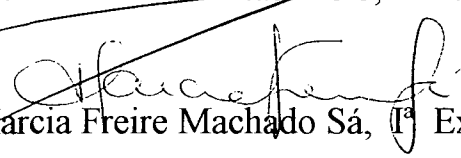
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-350-5648
E-mail: pgcisolo@agrarias.ufpr.br

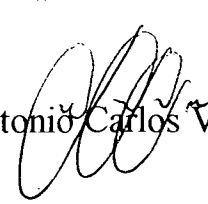
P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **ROBERTO MARTINS**, com o título: **"Contribuição da reserva de potássio na nutrição e produção do trigo em solos do Município de Castro, Estado do Paraná"**, para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, com o conceito **"A"**, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 29 de novembro de 2002.


Prof. Dr. Vander de Freitas Melo, Presidente.


Profª. Drª. Marcia Freire Machado Sá, Iª Examinadora.


Prof. Dr. Antonio Carlos Vasgas Motta, IIº Examinador.



AGRADECIMENTOS

A Deus por me iluminar e fortalecer, concedendo a graça de vencer as dificuldades e alcançar os objetivos desta jornada, pois; “*confia ao Senhor as suas obras e terão bom êxito os seus projetos (Prov. 16,3)*”.

À Família pelos estímulos e esforços conjuntos em toda a duração do curso para tornar real esse projeto de vida.

Aos laboratoristas pela paciência e auxílio dispensados nas inúmeras análises realizadas.

Ao Professor Vander de Freitas Melo por toda orientação e apoio durante a execução deste trabalho.

À Fundação ABC, especialmente aos funcionários Volnei Pauletti e Luiz Carlos Costa, pela ajuda prestada na coleta dos solos e pelas sementes de trigo cedidas.

E às demais pessoas, que de alguma forma participaram para que eu pudesse concluir o Mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1. Reserva mineral de potássio do solo.....	10
2.2. Contribuição de formas não-trocáveis de k na nutrição mineral de plantas	18
2.3. Nutrição mineral do trigo.....	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1. Descrição geral da área.....	26
3.1.1. Localização.....	26
3.1.2. Clima.....	26
3.1.3. Geologia.....	28
3.1.4. Unidades de solos	33
3.2. Coleta das amostras de solo	34
3.3. Instalação do experimento.....	35
3.4. Amostragem e análise química do material vegetal.....	36
3.5. Análises físicas das amostras de solo.....	37
3.6. Análises químicas das amostras de solo.....	38
3.6.1. Determinação dos teores trocáveis de K.....	38
3.6.2. Determinação dos teores não-trocáveis de K.....	38
3.6.3. Extração de mica e demais minerais 2:1.....	39
3.6.4. Determinação dos teores totais de K.....	41
3.7. Análises Mineralógicas das amostras de solo.....	42
3.7.1. Remoção da matéria orgânica do solo e separação das suas frações.	42
3.7.2. Caracterização mineralógica das frações areia, silte e argila.	43

3.8. Análise dos dados.....	44
3.8.1 Balanço nutricional de K.....	44
3.8.2 Procedimento Estatístico	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1. Caracterização geral dos perfis de solo	47
4.2. Caracterização mineralógica das frações do solo	50
4.3. Estimativa da reserva de K.....	53
4.4. Produção e conteúdo de K nas diferentes partes da planta	58
4.5. Correlações entre K no solo com o conteúdo na planta e a produção	62
4.6. Balanço Nutricional de Potássio.....	67
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	76
APÊNDICE	84

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

MAPA 01 – LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CASTRO, PR, ONDE SITUA-SE A REGIÃO DO ABC	27
MAPA 02 – MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO EM ESTUDO, COM AS DISTINTAS LITOLOGIAS PRESENTES	29
QUADRO 01 – ANÁLISE QUÍMICA DE ROTINA NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS	36
QUADRO 02 – PROFUNDIDADE DE HORIZONTES, ANÁLISE GRANULOMÉTRICA E CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL NA PROFUNDIDADE DE 0 A 40 CM NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS	49
QUADRO 03 – COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA DAS FRAÇÕES AREIA, SILTE E ARGILA DO SOLO E TEOR DE K EXTRAÍDO DA FRAÇÃO ARGILA ANTES PLANTIO, PELO TRATAMENTO COM NaHSO_4 , NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS	51
QUADRO 04 – TEORES DE K NA TFSA OBTIDOS POR DIFERENTES MÉTODOS DE EXTRAÇÃO, NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS	54
FIGURA 01 – TEORES DE K NO SOLO EXTRAÍDO COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE HNO_3 FERVENTE, NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS	57
FIGURA 02 – RENDIMENTO MÉDIO DE GRÃOS DO TRIGO NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS (LETRAS IGUAIS NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE PELO TESTE DE TUKEY 0,01)	59
FIGURA 03 – PRODUÇÃO TOTAL MÉDIA DE MATÉRIA SECA DO TRIGO NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS (LETRAS IGUAIS NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE PELO TESTE DE TUKEY 0,01)	60
FIGURA 04 – EXTRAÇÃO TOTAL MÉDIA DE K PELAS PLANTAS DE TRIGO NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS (LETRAS IGUAIS NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE PELO TESTE DE TUKEY 0,01)	60
QUADRO 05 – EXTRAÇÃO MÉDIA DE K PELAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA DE TRIGO NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS	61
QUADRO 06 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (R) ENTRE OS TEORES DE POTÁSSIO NO SOLO E A PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DOS COMPONENTES DA PLANTA (PARTE AÉREA-PMSPA, GRÃOS-PMSGR E RAIZ-PMSRZ) E PRODUÇÃO TOTAL DA PLANTA (PMST) NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS	63
QUADRO 07 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (R) ENTRE OS TEORES DE K NO SOLO E O CONTEÚDO DO NUTRIENTE NOS COMPONENTES DA PLANTA (PARTE AÉREA-CKPA, GRÃOS-CKGR, RAIZ-CKRZ) E CONTEÚDO TOTAL NA PLANTA (CKT) NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS	63
QUADRO 08 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (R) ENTRE OS TEORES DE K NO SOLO DOS PERFIS SELECIONADOS	63
FIGURA 05 – TEORES MÉDIOS DE K DISPONÍVEL, EXTRAÍDO COM MEHLICH-1, ANTES E APÓS O PLANTIO DO TRIGO NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS	71
FIGURA 06 – CONTEÚDO MÉDIO DE K NA PLANTA E DISPONÍVEL NO SOLO (MEHLICH-1) APÓS PLANTIO NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS	71
FIGURA 07 – COEFICIENTE DE UTILIZAÇÃO DO POTÁSSIO ABSORVIDO PELA PLANTA, NA PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA TOTAL, NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS	72
QUADRO 09 – BALANÇO NUTRICIONAL DE K ⁽¹⁾ NOS PERFIS DE SOLO SELECIONADOS	72

RESUMO

Este trabalho foi realizado em solos localizados no município de Castro-Pr, na região do ABC, visando estudar a contribuição de formas não-trocáveis de K presentes nos minerais do solo, na nutrição mineral da cultura do trigo e avaliar a eficiência de diferentes métodos de extração de K no diagnóstico da disponibilidade do nutriente para as plantas. O principal critério usado na seleção dos dez perfis foi a geologia do local, onde foram contemplados os seguintes materiais de origem: granito (Gr), embrechito (Em), arenito (Ar), siltito/arcósio (Si/Arc), micaxisto (Mi), riolito (Ri), diabásio (Di) e conglomerado (Co). Nestas unidades selecionadas foram abertas trincheiras até 40 cm (camada arável), de onde se coletaram amostras de solo para a execução do experimento em casa de vegetação e para a realização das análises químicas, físicas e mineralógicas (frações areia, silte e argila). Com propósito de avaliar a reserva mineral em relação ao grau de intemperismo, no diabásio e micaxisto, selecionaram diferentes classes de solo (NITOSSOLO, CAMBISSOLO e LATOSSOLO) perfazendo um total de 10 solos. As unidades experimentais foram constituídas por vasos com 4 dm³ e 10 plantas aptas, distribuídas em blocos ao acaso, com três repetições. Os solos foram calcariados e adubados com macro e micronutrientes, com exceção de K, e os vasos foram regados periodicamente à capacidade de campo. As plantas de trigo foram colhidas ao término do ciclo produtivo e, após secas e pesadas, determinou-se a produção em matéria seca da parte aérea, grãos e raízes. Esses materiais vegetais foram moídos e amostrados para a determinação do teor de K. Para avaliar a disponibilidade de K, submeteram-se amostras de TFSA, antes e após o plantio, aos tratamentos com Mehlich-1 e Acetato de Amônio 1M (K trocável). Avaliou-se também a reserva mineral dos solos por meio da digestão das amostras com HF concentrado (K total), extração com NaHSO₄ (K estrutural presente na mica) e tratamentos com concentrações crescentes de HNO₃ fervente (K não-trocável). Os dados foram submetidos a análises de variância e correlação de Pearson, sendo que, nesta última, procurou-se relações significativas entre os teores de K extraídos do solo, por diferentes metodologias e a produção e conteúdo de K na planta. As amostras da fração areia dos perfis P3Ar e P6Mi mostraram-se ricas em minerais primários, onde a presença de micas e feldspatos, respectivamente, representam reserva potencial de K para as plantas. Os solos em estudo são, essencialmente, caulíníticos, com presença de mica nas frações silte e argila nos perfis P3Ar, P4Si/Arc, P6Mi, P7Ri, P9Di e P10Co. Em relação à utilização da reserva mineral de K dos diferentes perfis, verificou-se a seguinte sequência crescente no potencial de liberação do nutriente para as plantas: P1Gr, P2Em, P5Mi, P4Si/Arc, P7Ri, P3Ar, P9Di, P10Co, P8Di, P6Mi. A contribuição do K não-trocável do solo na nutrição mineral das plantas foi mais expressiva nos perfis P1Gr, P3Ar, P6Mi e P10Co, chegando a valores de 54% do total acumulado pelas plantas.

Palavras-chave: K não-trocável; ácido nítrico fervente; mica; feldspato.

ABSTRACT

This work was accomplished in located soils in the municipal district of Castro-Pr, in the region of ABC, for the culture of the wheat, seeking to study the contribution of non-exchangeable K presents in the soil minerals, in the mineral nutrition of the culture of the wheat and to evaluate the efficiency of different methods in the extraction of K in the diagnosis of the readiness of the nutrient for the plants. The principal method used in the selection of the ten profiles it was the geology of the place, where the following origin materials were meditated: granite (Gr), embrechite (Em), sandstone (Ar), siltstone (Si/Arc), mica rich rock (Mi), riolite (Ri), diabase (Di) and conglomerate (Co). In these selected units they were open profiles up to 0,40 m, from where soil samples were collected for the execution of the experiment green house and for the chemical, physics and mineralogical (sand, silt and clay fractions) analyses. With purpose of evaluating the mineral reservation in relation to the weathering degree, in the diabase and mica rich rock, they selected different soil classes totaling of ten soils. The experimental units were constituted by vases with 4 dm³ and ten capable plants, distributed in blocks to the maybe, with three repetitions. In the soils they were applied limestone and fertilized with macro and micronutritious, except for K, and the vases were watered periodically to the field capacity. The wheat plants were picked at the end of the productive cycle and after droughts and heavy, the dry matter of different parts was determined (aerial, grains and roots parts). Those materials vegetables went milled and sampling to the determination of K. To evaluate the readiness of K, they submitted samples of soil, before and after the planting, in the treatments with Mehlich-1 and Ammonium Acetate 1M (exchangeable K). It was also evaluated the mineral reservation of the soils through the digestion of the samples with fluoridric acid (total K), extraction with sodium bissulfate (structural K in the mica) and treatments with growing concentrations of boiling nitric acid (non-exchangeable K). The data were submitted to variance analyses and correlation of Pearson, in this last one, it was sought significant relationships among the tenor of extracted K of the soil, for different methodologies and the production and content of K in the plant. The samples of the fraction sand of the profiles P3Ar and P6Mi they were shown rich in primary minerals, where the micas presence and feldspatos, respectively, they represent potential reservation of K for the plants. The soils in study are, essentially, kaolinitics with mica presence in the silt and clay fractions in the profiles P3Ar, P4Si/Arc, P6Mi, P7Ri, P9Di and P10Co. In relation to the potential plant use of the K mineral reserve from different profiles, the following growing sequence was verified: P1Gr, P2Em, P5Mi, P4Si/Arc, P7Ri, P3Ar, P9Di, P10Co, P8Di, P6Mi. The contribution of non-exchangeable K of the soil in the mineral nutrition of the plants was more expressive in the profiles P1Gr, P3Ar, P6Mi and P10Co, arriving to values of 54% of the total accumulated for the plants.

Key words: non-exchangeable K; boiling nitric acid; mica; feldspar.

1. INTRODUÇÃO

A nutrição adequada da planta é fundamental para a obtenção de altas produtividades, mas ela sofre a influência direta das diversidades climática, edáfica e varietal. No Brasil, até meados da década de 80, os trabalhos com nutrição e adubação de diferentes culturas visavam basicamente o fornecimento de nutrientes para a obtenção de altas produtividades, sendo o nitrogênio o nutriente mais estudado (EMBRAPA, 1984).

Dentre as características edáficas, as propriedades físicas e químicas do solo são de extrema importância para que se obtenha boas produtividades. As relações entre os constituintes do solo e os nutrientes são complexas e, às vezes, de difícil entendimento. Para auxiliar na compreensão destas relações que, em última instância, refletem o crescimento das plantas, a caracterização do solo, incluindo a mineralogia de suas frações, reveste-se de grande importância.

Com a caracterização mineralógica é possível avaliar a reserva mineral e a tendência de comportamento físico-químico dos solos. Os minerais primários indicam a capacidade do solo de repor os nutrientes para a solução do solo. Não menos importante os minerais secundários, por meio das cargas eletrostáticas de superfície, governam as reações de troca e de fixação de nutrientes (MELO et al., 2001a).

Segundo DA COSTA (1979), a reserva mineral do solo é dividida, de acordo com a facilidade relativa dos minerais em liberar os nutrientes, da seguinte maneira:

- reserva mineral de curto prazo, constituída pelos minerais ferromagnesianos e outros minerais facilmente alteráveis, desde que em tamanho

inferior à dimensão do silte;

— reserva mineral de médio prazo, constituída pelos minerais ferromagnesianos (olivina, piroxênio, anfibólio e biotita) e plagioclásios, em partículas de dimensão superior a do silte;

— reserva mineral de longo prazo, constituída pelos feldspatos potássicos, muscovitas e outros minerais dificilmente alteráveis, desde que em tamanho superior à dimensão do silte.

Desta forma, o estudo de variáveis do solo, utilizando métodos de determinações não rotineiros, tais como a estimativa da reserva mineral do solo, auxiliam no conhecimento das relações entre características químicas do solo e produtividade da cultura do trigo. Nos solos onde a contribuição de formas não-trocáveis de K for importante para essa cultura, será possível propor outro método de extração para avaliar a disponibilidade do nutriente para as plantas, visando melhorar as adubações potássicas.

Portanto, o objetivo geral do presente trabalho é o estudo da contribuição de formas não-trocáveis de K, presentes nos minerais do solo, na nutrição e produção do trigo, visando definir a eficiência dos diferentes métodos para avaliação da sua disponibilidade no solo. Por conseguinte, os objetivos específicos são: caracterizar os minerais presentes nas frações areia, silte e argila do solo; avaliar a contribuição de formas não-trocáveis de K na nutrição e produção do trigo e; avaliar diferentes métodos de extração de K quanto a capacidade preditiva da disponibilidade do nutriente no solo para a cultura do trigo.

O resultado final poderá ser o cultivo de plantas em melhor estado nutricional, economia de adubo e menor entrada de K e outros ânions acompanhantes ao meio ambiente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. RESERVA MINERAL DE POTÁSSIO DO SOLO

A Região Sul é caracterizada pela grande ocorrência de solos ácidos, com baixa disponibilidade de nutrientes como o P e o K, baixos teores de bases e elevadas concentrações de Al. A aplicação de corretivos e fertilizantes é uma técnica que promove ganhos significativos de produtividade, embora de magnitude variável em função do nível de fertilidade natural do solo.

As plantas absorvem grandes quantidades de K, sempre na forma iônica (MARSCHNER, 1995). A carga positiva do elemento ajuda a manter a neutralidade elétrica na planta pelo balanceamento com cargas negativas de NO_3^- , $(\text{H}_2\text{PO}_4)^-$ e outros ânions. As plantas requerem relativamente grandes quantidades de K, sendo considerado o terceiro nutriente mais limitante no crescimento, e freqüentemente as plantas utilizam mais que as formas trocáveis existentes nos solos (TROEH & THOMPSON, 1993).

Segundo CLARKE (1924), concordando com PRASAD & POWER (1997), o teor médio de K (K_2O) na litosfera é de $25,8 \text{ g Kg}^{-1}$, ocorrendo em maior concentração nas rochas ígneas ($31,3 \text{ g Kg}^{-1}$) e nos xistos ($38,4 \text{ g Kg}^{-1}$) e, em concentrações menores, nos arenitos ($13,1 \text{ g Kg}^{-1}$) e calcários ($3,3 \text{ g Kg}^{-1}$). No solo varia de acordo com o material de origem, perdas que tenha sofrido e adições efetuadas, sendo encontrada a maior quantidade deste elemento nos minerais primários, principalmente as micas (muscovita $70 \text{ a } 110 \text{ g Kg}^{-1}$ de K_2O ; biotita 60 a

100 g Kg⁻¹ de K₂O) e feldspatos (ortoclásio, microclina e sanidina - 40 a 150 g Kg⁻¹ de K₂O) (MENGEL & KIRKBY, 1978; TROEH & THOMPSON, 1993; MELO et al., 2000, 2002ab). Nas micas, este nutriente encontra-se localizado entre as unidades cristalinas formadas pelas camadas de tetraedros de silício e octaedros de alumínio. Já nos feldspatos está presente nos interstícios da grade cristalina, sendo retido por fortes ligações covalentes (PRASAD & POWER, 1997).

O K está presente no solo em quatro diferentes formas, a saber: estrutural, que é o encontrado nos minerais primários, ligado no interior da estrutura desses minerais (MARTIN & SPARKS, 1985); não-trocável ou fixado, que está retido entre camadas tetraédricas de minerais de argila 2:1 (poros ditrigonais) com maior densidade de carga negativa permanente (BESOAIN, 1985; SONG & HUANG, 1988), ocorrendo, por exemplo, nas vermiculitas e minerais interestratificados (SPARKS, 1987); trocável, ligado ao complexo de troca (sítios de adsorção) de minerais silicatados com menor densidade de carga negativa permanente, como a esmectita, e óxidos de ferro e alumínio; e solúvel, constitui o que passou para a solução do solo, estando na forma iônica (PRASAD & POWER, 1997).

Segundo TISDALE et al. (1985) o K na forma estrutural nos minerais dos solos pode variar de 5000 a 140000 mg kg⁻¹, enquanto que o K não-trocável ou fixado, varia de 50 a 705 mg kg⁻¹, já a quantidade na forma trocável deste elemento no solo varia de 40 a 600 mg kg⁻¹ e, finalmente, a forma solúvel, em água, varia de 1 a 10 mg kg⁻¹, considerando que, abaixo de 8 mg kg⁻¹, sugestiona-se deficiência. O informe técnico da EMBRAPA (1995) classifica como nível crítico baixo de K no solo teores, extraídos com Mehlich-1 (PAVAN et al., 1992), inferiores a 0,1 cmol_c dm⁻³ de solo (39 mg dm⁻³ de solo). Segundo as RECOMENDAÇÕES DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO (2000), com referência às classes de

interpretação dos valores de K no solo, considera-se o teor de 80 mg dm^{-3} como o valor abaixo do qual aumentam as possibilidades de redução no desenvolvimento da cultura, sendo, portanto, esse o nível crítico de potássio no solo para a implantação do trigo.

Os valores das diferentes formas de K, presentes no solo, expressas como percentagens do K total são: estrutural, de 92 a 97%; não-trocável ou fixado, de 2 a 7,5%; e o disponível (trocável e solúvel), de 0,1 a 2% do K total (PRASAD & POWER, 1997). Os teores trocáveis, em geral, representam uma pequena parte em relação aos teores totais, contudo, em solos muito intemperizados, como é o caso de muitas regiões brasileiras, é a principal forma de K quanto à disponibilidade do nutriente a curto prazo para as plantas. A liberação de K trocável é mais rápida em valores de pH mais baixos, pois, em solos mais ácidos há maior presença de Al^{+3} e H^+ que competem pelos sítios de troca com o K, deixando-o em solução, o qual pode ser lixiviado (TROEH & THOMPSON, 1993; PRASAD & POWER, 1997).

Existe um equilíbrio entre as formas de K no solo, subdivididas em, não-trocáveis (incluindo as formas estruturais), trocáveis e solúveis, sendo, muitas vezes, representado por meio de um sistema de vasos comunicantes (MELLO et al., 1983; RAIJ, 1991; TROEH & THOMPSON, 1993). O processo de conversão de K solúvel ou trocável em K não-trocável denomina-se fixação e o oposto é a liberação (TROEH & THOMPSON, 1993). Qualquer mudança nos teores de K não-trocável, trocável e solúvel altera os teores das duas outras formas, observando-se que, altos níveis de K solúvel e baixo de não-trocável a reação se processa para à fixação, enquanto que a situação oposta resulta em liberação (MELLO et al., 1983).

A capacidade de um determinado solo de fixar e liberar K varia de acordo com inúmeros fatores, tais como: a qualidade e quantidade dos colóides no solo,

concentração de K solúvel, pH do solo, cátions presentes e ciclos de umedecimento e secagem. A respeito dos colóides do solo, quanto maior o teor de minerais 2:1 com alta densidade de carga estrutural negativa, como a illita, vermiculita e minerais interestratificados, maior será a fixação do nutriente (MELLO et al., 1983; PRASAD & POWER, 1997).

MALAVOLTA (1985) apresenta resultados onde a fixação de potássio foi duas a três vezes maior em solo seco comparado com o solo úmido. O umedecimento e a secagem dos solos permitem que as unidades cristalinas de argilas do tipo 2:1 como, por exemplo, a vermiculita, apesar de apresentarem expansibilidade limitada, se expandam e se contraíam resultando na fixação do K e em um declínio no teor trocável do mesmo. Assim, uma das razões do melhor crescimento das plantas em solos úmidos do que em solos secos é ter mais água no solo aumentando a fonte de nutrientes dissolvidos (solúvel).

A distinção entre K não-trocável ou fixado e K estrutural é que o nutriente na forma mais estável (estrutural) está ligado covalentemente dentro da estrutura do mineral (MARTIN & SPARKS, 1985), ou ainda, a liberação de K não-trocável é um processo reversível, enquanto que a liberação do K estrutural é irreversível, envolvendo reações de dissolução (KIRKMAN et al., 1994). Como os minerais primários portadores de K estrutural estão em equilíbrio com o K da solução do solo, quando a concentração de K é menor que um valor crítico, específico para cada mineral, o K tende a ser liberado da estrutura do mineral acelerando o processo de intemperismo. Mas quando a concentração é maior do que o valor crítico, o K da solução do solo pode entrar na estrutura das micas e ser fixado pelas camadas expandidas pela atuação do intemperismo (FANNING et al., 1989). Segundo MARTIN & SPARKS (1985) a concentração crítica na qual a liberação de K é inibida

varia de 2,3 a 16,8 $\mu\text{g mL}^{-1}$ para as micas trioctaédrias em soluções diluídas e abaixo de 0,1 $\mu\text{g mL}^{-1}$ para muscovita. As concentrações críticas de K na solução são extremamente menores para os minerais dioctaédrais, ou seja, para que a muscovita libere K, sua concentração na solução do solo deve cair a valores desprezíveis comparado com a liberação pela biotita (SPARKS & HUANG, 1985).

Organismos e ácidos húmicos do solo são fatores importantes de redução da concentração iônica da solução do solo, aumentando a taxa de liberação de K estrutural pelas micas e feldspatos potássicos (WENTWORTH & ROSSI, 1972; HAVLIN et al., 1985). Ácidos húmicos e fúlvicos apresentam elevada capacidade de adsorção de K (FANNING et al., 1989). A lixiviação também apresenta papel relevante na redução da atividade de K da solução do solo. Em condições de boa drenagem, alta proporção de K é perdido por lixiviação acelerando o processo de intemperismo das micas e feldspatos potássicos.

Em relação aos colóides presentes nos solos desenvolvidos sob condições tropicais úmidas, o principal mineral é a caulinita (JUO, 1980; CURI & FRANZMEIER, 1984; SINGH & GILKES, 1992; MELO et al., 2001b). Este argilomineral do tipo 1:1 apresenta estrutura filossilicatada, formado pelo empilhamento regular de lâminas de tetraedros de Si e octaedros de Al (mineral dioctaédral). As unidades básicas 1:1 são ligadas por pontes de hidrogênio entre o oxigênio basal dos tetraedros às oxidrilas da camada octaédrica (DIXON, 1989). Tem sido postulada a presença de cargas negativas na caulinita, pela substituição isomórfica, uma vez que se observa a retenção de cátions em condições ácidas (SPARKS, 1987). Essas possíveis cargas negativas permanentes poderiam ser importantes na retenção de K entre as camadas do mineral. Contudo, é mais aceito, que as cargas negativas permanentes na caulinita são devidas à presença de

interestratificações com esmectita (DIXON, 1989). Relativamente pouca caulinita pura é encontrada em minas de caulín e nos solos (SPARKS, 1987).

A mais provável fonte de K estrutural na caulinita é a presença de zonas de mica no interior do mineral. Estas camadas oclusas de mica devem ser mais freqüentes nos flocos de caulinita pseudomorfa de biotita presentes nas frações areia e silte de solos (MELO et al., 2000). A caulinita pode ser formada diretamente do intemperismo da biotita, encontrada nas rochas, originando estes pseudomorfos (PINTO et al., 1972; REBERTUS et al., 1986; GRAHAM et al., 1989). Nestes minerais, o K poderia ficar retido entre as unidades de caulinita, e juntamente com os resíduos de mica, constituiriam fontes de K não-trocável para as plantas.

Normalmente, o teor de K em partículas de caulinita é muito baixo. SINGH & GILKES (1992) avaliando as propriedades da caulinita presente na fração argila de solos do Sudoeste da Austrália, encontraram variação de 1,0 a 2,9 g Kg⁻¹ nos teores de K₂O entre as amostras (análises de partículas individuais de caulinita com uso de microscopia eletrônica). Os autores comentam que a presença de K no mineral é devido à ocorrência de intercamadas de muscovita, que de acordo com o teor de K₂O, indica uma concentração de 10 a 29 g Kg⁻¹ dessas camadas. Devido a sua pouca periodicidade (cristalinidade) a muscovita não foi detectada por difratometria de raios-X (DRX). Amostra padrão de caulinita da Georgia também foi utilizada no trabalho, apresentando 2,1 g Kg⁻¹ de K₂O, contudo, ao contrário das amostras de solo, apresentou picos característicos de muscovita.

Ainda com relação à presença de formas não-trocáveis de K na caulinita, MELO et al. (2001b) observaram que os solos mais jovens apresentaram as menores partículas de caulinita na fração argila, com menor grau de cristalinidade e temperatura de desidroxilação e maiores teores de K, provenientes de resíduos

micáceos no interior da estrutura desse mineral e desta maneira, mais protegidos do intemperismo. Mesmo apresentando baixos teores de K a caulinita pode conter mais de 50% do K total de solos altamente intemperizados de várias regiões do Brasil (MELO et al. 2002b). Portanto, partículas de caulinita nas frações destes solos vêm a ser uma importante fonte de K estrutural.

Outro mineral que se apresenta em menor escala em solos ácidos e intemperizados, mas em larga distribuição espacial e encontrado em várias classes de solo, é a vermiculita com hidróxi entre camadas (VHE) (SPARKS, 1987). Os polímeros de Al-hidróxi presentes neste mineral aumentam sua resistência aos processos de intemperismo, mantendo as unidades estruturais unidas. Esses polímeros impedem a fixação de K por atuar como “pontos de apoio”, inibindo o colapso do mineral sobre os íons nos poros ditrigonais. Nos sistemas naturais, podem ser encontrados juntos na fração argila de solos a caulinita, gibbsita e VHE (HARRIS et al., 1988). A importância da ocorrência desse mineral no solo reside no fato de aumentar a sua CTC, a qual vai aumentar a adsorção de K, evitando que esse nutriente seja perdido por lixiviação e tornando-o disponível para as plantas ao longo do cultivo. Alguns trabalhos mostram esse efeito benéfico, que também contribui na liberação de K não-trocável do solo (HARRIS et al., 1988; SANZ-SCOVINO, & ROWELL, 1988; COMERFORD et al., 1990; SANZ-SCOVINO et al., 1992). Muitos solos arenosos da Flórida suportam ecossistemas nativos ou cultivados apresentando apenas traços ou quantidades desprezíveis de K trocável devido à presença de VHE (COMERFORD et al., 1990). O processo de formação deste mineral se daria pelo intemperismo da clorita ou de minerais micáceos em condições ácidas, onde o K interplanar é trocado por íons hidrônio $[(H_3O)^+]$ e outros cátions hidratados e principalmente o Al pode ocupar estes sítios de troca, que por

processos de hidrólise e de polimerização forma o mineral (SPARKS, 1987; HARRIS et al., 1988; BARNHISEL & BERTSCH, 1989). A estabilidade do mineral VHE será maior ou menor que a caulinita, dependendo do grau de ocupação pelos polímeros de Al-hidroxi. Contudo, em condições muito ácidas, pode ocorrer descloritização (solubilização dos polímeros) e transformação de VHE em vermiculita (BARNHISEL & BERTSCH, 1989).

2.2. CONTRIBUIÇÃO DE FORMAS NÃO-TROCÁVEIS DE K NA NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS

A avaliação da contribuição de formas não-trocáveis e estruturais de K na nutrição de culturas anuais, como trigo, arroz, milho, feijão e soja podem ser importantes na economia de adubos e no cultivo de plantas em melhor estado nutricional. A caracterização mineralógica do solo possibilita avaliar o seu comportamento físico-químico, como a capacidade do solo de repor os nutrientes para a solução (minerais primários) e as reações de troca e fixação, governadas pelos minerais secundários (MELO, 1994). O estudo da reserva de K, tendo em vista concentração e espécie mineral no solo e a taxa de sua liberação pelos minerais, são de extrema importância, pois influenciam no suprimento deste nutriente para as plantas.

A estimativa da contribuição das formas não-trocáveis de K na nutrição de plantas tem sido feita em diversos estudos utilizando cultivos sucessivos, extrações químicas empregando HNO_3 fervente 1 mol L^{-1} , lavagens sucessiva com HCl $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, ácidos orgânicos de baixo peso molecular (cítrico e oxálico) e resinas trocadoras de cátions (SMITH & MATTHEWS, 1957; MACLEAN & BRYDON, 1963; RICHARDS et al., 1988; SIMARD et al., 1992).

Estudos com cultivos sucessivos evidenciaram a expressiva contribuição de formas não-trocáveis de K no total absorvido pelas plantas. PATELLA (1980) constatou que o teor de K trocável de um solo originado de granito no Rio Grande do Sul diminuiu muito pouco durante 15 anos de cultivo, com trigo na parcela sem adubação, revelando a alta capacidade do solo estudado em repor o K absorvido

pelas plantas a partir de formas, inicialmente, não-trocáveis. Outros autores concluíram que a contribuição de formas não-trocáveis de K no total absorvido pelas plantas, em cultivos sucessivos de milho e soja, chegaram a 86% (RICHARDS et al., 1988; NACTHIGALL & VAHL, 1991a; NACTHIGALL & VAHL, 1991b).

MELO et al. (1995) observaram que a contribuição de formas não-trocáveis de potássio foi importante para nutrição do eucalipto, ao longo do seu ciclo de cultivo. De acordo com os autores, as árvores extraíram quantidades de K superiores às detectadas pelos métodos de rotina (K trocável), fato evidenciado pela maior correlação entre os teores de K no solo extraído com ácido nítrico fervente e seu conteúdo na planta.

Além do efeito da diminuição dos teores dos elementos na solução do solo, aumentando a liberação de formas não-trocáveis, o processo de absorção de cátions pelas plantas acarreta a formação de microrregião com alta concentração de H^+ , acelerando o processo de liberação de K pelo intemperismo dos minerais (RICE & KAMPRATH, 1968). Além disso, ácidos orgânicos são exsudados pelas raízes e produzidos no solo, por meio da decomposição de resíduos de plantas e de animais, e pelo metabolismo de microrganismos, promovendo um ataque ácido aos minerais do solo, liberando os elementos para a solução (SONG & HUANG, 1988).

SIMARD et al. (1992) estudaram o efeito do ácido cítrico na liberação de K das frações silte e argila do solo e por meio das variações mineralógicas, ocorridas após a extração com ácido cítrico, estabeleceram a seguinte seqüência decrescente de resistência dos minerais ao intemperismo: feldspato > muscovitas > cloritas > biotita ~ vermiculita trioctedral. Nos solos em que as frações silte e argila tinham micas de natureza trioctedral, ocorreu a maior liberação de K com ácido cítrico, comparado às micas dioctedrais e, também, maior absorção de K não-trocável

pelas plantas. Esses autores também encontraram alta correlação entre o K extraído pelas plantas e o K extraído com HNO_3 1 mol L^{-1} , com valores de coeficientes de correlação de 0,90, significativo ao nível de 0,001 de probabilidade. Segundo os autores, a extração com ácido nítrico fervente envolve forte reação de hidrólise, atacando a estrutura das argilas silicatadas.

NACHTIGALL & VAHL (1991a) encontraram altos valores de coeficientes de correlação entre a extração de K pelas plantas em cultivos sucessivos e o K extraído pelo ácido nítrico ($r = 0,92$). Contudo, apesar do alto poder de predição do método, o K não-trocável absorvido pelas plantas, constitui, aproximadamente, apenas 26% do K não-trocável extraído com HNO_3 1 mol L^{-1} fervente.

2.3. NUTRIÇÃO MINERAL DO TRIGO

O K é necessário, principalmente, para o funcionamento das enzimas controladoras do metabolismo dos carboidratos e proteínas, para o transporte de compostos orgânicos e para o controle das relações com a água na planta (KEMMLER, 1974; MARSCHNER, 1995). Em decorrência, é o elemento encontrado em maior quantidade nos tecidos meristemáticos, os quais constituem regiões de maior atividade metabólica. Logo, a deficiência de potássio resultaria no enfraquecimento do vigor das plantas e, por impedir o movimento dos carboidratos até os grãos, decréscimos de produção (BALDANZI, 1966; SCHLEHUBER & TUCKER, 1967). MENGEL et al. (1981) documentaram que a síntese de proteína em grãos de trigo é muito diminuída sob condições de baixo suprimento de K. Esta diminuição foi causada por uma translocação prejudicial de produtos fotossintéticos das folhas para os grãos.

Para que ocorra a absorção de um elemento qualquer pela planta a primeira condição é que se estabeleça o contacto entre o mesmo e a raiz, ou folha se for o caso, sendo o principal mecanismo, para o íon K, a difusão, embora uma proporção relativamente alta seja por fluxo de massa, onde o elemento caminha pelo solo numa fase aquosa móvel (solução do solo) (BARBER & OLSON, 1968). A difusão ocorre na presença de um gradiente de concentração de K em torno das raízes, verificado quando os demais processos não fornecem todo K necessário às plantas, fato confirmado por WALKER & BARBER (1962), utilizando radioautografias. Segundo BARBER & OLSON (1968) a contribuição relativa dos processos de difusão e fluxo de massa, para o contacto íon-raiz, no fornecimento

desse nutriente para o milho, é de 78 e 20%, respectivamente.

A produção e acúmulo de matéria seca e nutrientes na parte vegetativa e nos grãos, além de outros fatores, depende das características genéticas das cultivares e da disponibilidade de água e nutrientes durante o seu desenvolvimento. O acúmulo de matéria seca na planta inteira do trigo segundo KARLEN & WHITNEY (1980), obtido em experimentos em Kansas, USA, obedece o modelo de curva sigmóide, desde a germinação até a maturação, ocorrendo um acúmulo mínimo até o início da alongação do colmo, atingindo o máximo na maturação fisiológica e diminuindo na maturação final, havendo este decréscimo posterior em função da dessecação, onde as espigas apresentam 46% da matéria seca total.

Para estudar o acúmulo de matéria seca e o conteúdo de nutrientes, incluindo o K, WALDREN & FLOWERDAY (1979) conduziram experimentos em condições de campo, nos EUA, durante três anos consecutivos para a cultura do trigo. Os autores concluíram que o máximo de matéria seca da folha ocorria no estágio da floração, e do colmo, até o início da formação do grão. Em relação ao conteúdo total na planta, até a maturação houve um acúmulo no grão de 38% da matéria seca e 17% do K, sendo que o máximo acúmulo verificado por planta foi de 7,61 g de matéria seca e 146 mg de potássio. GAMA (1977a e 1977b) estudando a nutrição do trigo em vasos com solo de textura franco-arenosa, em Portugal, obteve uma produção máxima de matéria seca de 8,14 g por planta e um acúmulo máximo de K de 113 mg por planta. GONZÁLEZ et al. (2000) mostraram que o modelo quadrático é o que melhor descreve a relação entre as extrações de K e a idade da planta de trigo. A absorção de K de trigo cultivado sob condições limitantes de água pode chegar a 50 Kg ha⁻¹ (EAKIN, 1972), enquanto que sob ótimas condições de crescimento 200 Kg ha⁻¹ pode ser absorvido (GONZÁLEZ et al., 2000).

KALCKMANN & PILCZER (1966) trabalhando em solos brasileiros observaram que os maiores acúmulos de K estão localizados na parte vegetativa da planta, enquanto que as maiores quantidades de nitrogênio e fósforo situam-se nos grãos. MUZILLI & HOEPNER (1984) através de estudos com a nutrição de trigo realizados no Estado do Paraná, mostraram que a espécie tem crescimento lento até atingir o estágio do perfilhamento, intensificando a partir daí até o estágio de grão leitoso, sendo que posteriormente só há um pequeno acúmulo de matéria seca. O acúmulo de K até o emborrachamento, chega a 90% do total encontrado na planta, atingindo o máximo no estágio de grão leitoso. WALDREN & FLOWERDAY (1979) também verificaram que o acúmulo máximo de K pelo trigo correspondeu ao período de suprimento dos grãos (enchimento).

HOCKING (1994) aponta que pelo menos 75% do K absorvido pela planta é acumulado até a antese e que nesta etapa são os colmos que acumulam a maior proporção deste elemento. Segundo REJADO (1978) o trigo consome 70 a 75% do K necessário até a floração e entre 40 a 60% durante o perfilhamento e iniciação da formação das espigas. Os resultados apresentados por GARGANTINI et al. (1973) levam a conclusões semelhantes, embora os resultados experimentais não relacionem as épocas de amostragem com os diferentes estádios de desenvolvimento da planta, em que 75 a 80% do total de K foi absorvido pelo trigo aos 60 dias após a germinação. Há indicação de que as máximas taxas de absorção de K verificam-se nos períodos do máximo desenvolvimento das plantas, concordando com afirmações de REJADO (1978).

BAKER & TUCKER (1973), com base em experimento realizado em um solo deficiente em N e P nos E.U.A., obtiveram em plantas de trigo com 43 dias de idade, a máxima concentração de N, P e K, com valores de 5%, 0,46%, e 2,7%,

respectivamente. GALRÃO & SOUSA (1985), estudando nutrição de trigo em um solo orgânico da região do cerrado brasileiro, analisaram a folha bandeira da planta na fase de floração e verificaram que o teor de K foi de 1,62%. Este valor foi superior ao encontrado no grão na fase de maturação. O teor crítico para o K na diagnose foliar, estudado por LOUÉ (1982), foi de 2,4 a 2,6% de K, que correspondeu às máximas produções. O estudo da nutrição mineral do trigo em Cambissolo álico no Estado de São Paulo, realizados por BATAGLIA et al. (1985), mostrou diferenças na concentração e acúmulo de nutrientes entre as cultivares mexicanas “Siete Cerros” e “Alondra” e a cultivar brasileira “IAC 5-Maringá”.

O conhecimento sobre o potencial de produção das diferentes cultivares, a extração e a exportação de nutrientes é importante para poder estabelecer os melhores níveis de adubação e formas de aplicação.

As perdas elevadas deste nutriente devem ser consideradas em função da lixiviação causada pela chuva e da morte de folhas (WALDREN & FLOWERDAY, 1979), as quais, junto com o colmo, são as principais acumuladoras de K. De acordo com ORPHANOS & KRENTOS (1980), os quais estudaram a absorção de K em solos bem supridos deste nutriente, as concentrações do mesmo nas folhas, colmos e grãos atingiram 3,09%, 1,33% e 0,50%, respectivamente. GONZÁLEZ et al. (2000) notaram que os padrões de extração de K indicam que a planta de trigo, em geral, perde 41% do K depois de alcançar seu máximo acúmulo e que a quantidade de K acumulada na espiga corresponde a 26% do total absorvido pela planta.

A absorção de macronutrientes pela planta, conforme GARGANTINI et al. (1973) e KARLEN & WHITNEY (1980), trabalhando em condições de ambiente controlado, mostraram que o consumo obedece a seguinte ordem decrescente: $N > K > Ca > Mg > S > P$. No entanto, a exportação percentual relativa ao consumo total

não obedece a mesma ordem, apresentando-se assim: $N > P > Ca > Mg > S > K$.
Resultados semelhantes foram obtidos por FONTOURA et al. (1988).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA

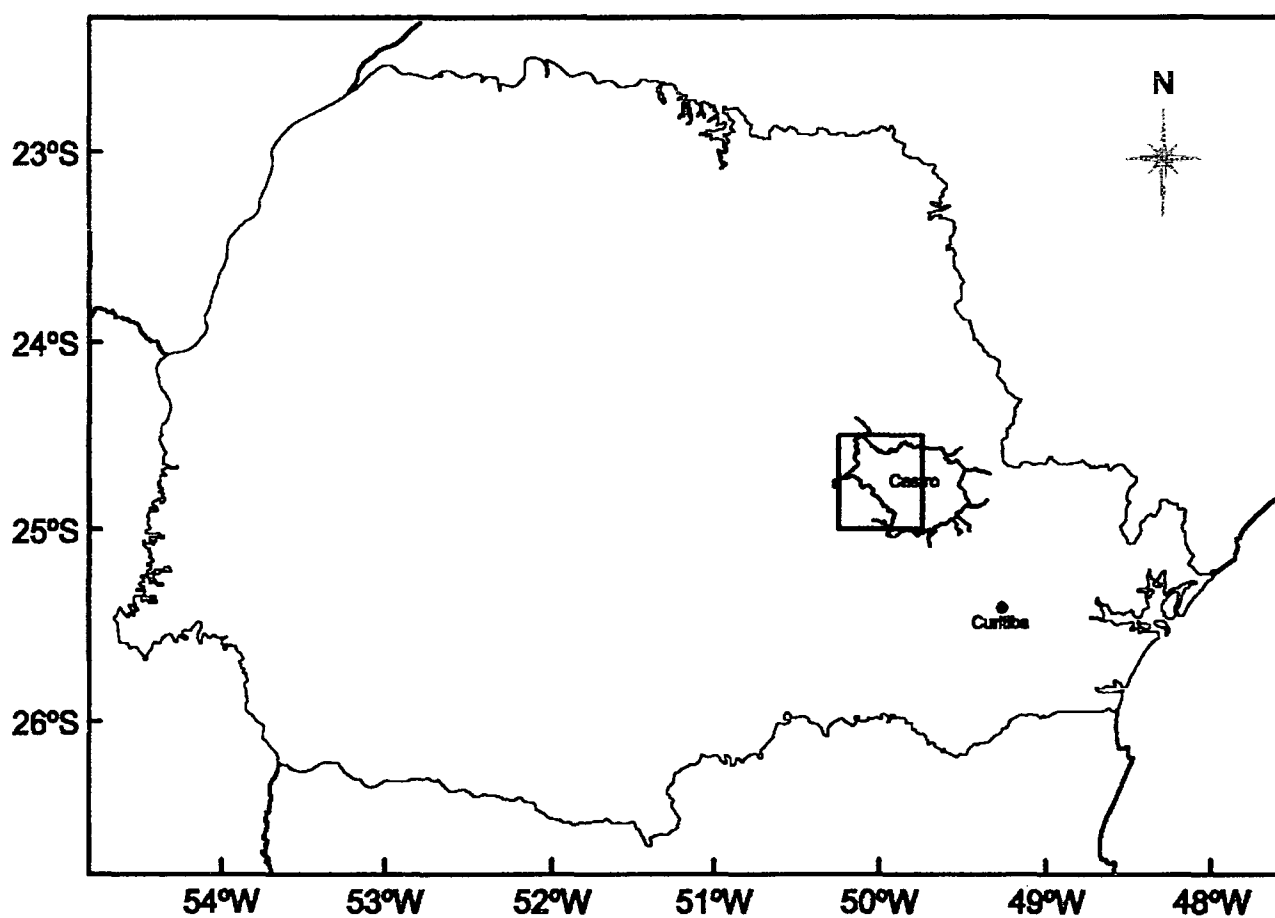
3.1.1. Localização

O estudo foi realizado com solos do Paraná, distribuídos entre as coordenadas geográficas de 24° 30' a 25° 00' de latitude Sul e 49° 45' a 50° 15' de longitude Oeste, onde estão situadas as litologias que compõem o grupo Castro, envolvendo a região do ABC no município de Castro (Mapa 01).

3.1.2. Clima

O Paraná apresenta dois tipos climáticos (IAPAR, 2000), da classificação de Köppen, que caracterizam o Estado: Cfa e Cfb. Para a região em estudo, de acordo com essa classificação, o clima predominante é do tipo Cfb, definido como temperado, mesotérmico, com a temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C e com temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C, tendo verões amenos e ocorrência de geadas severas e freqüentes. A precipitação média anual é de, aproximadamente, 1500 mm (IAPAR, 2000). A distribuição das chuvas é relativamente regular sem estação de seca, com maior precipitação nos meses com maior temperatura. O trimestre mais chuvoso (dezembro, janeiro e fevereiro) tem índice pluviométrico entre 500 e 600 mm e o trimestre menos chuvoso (junho, julho e

agosto) o índice se encontra entre 225 e 350 mm.



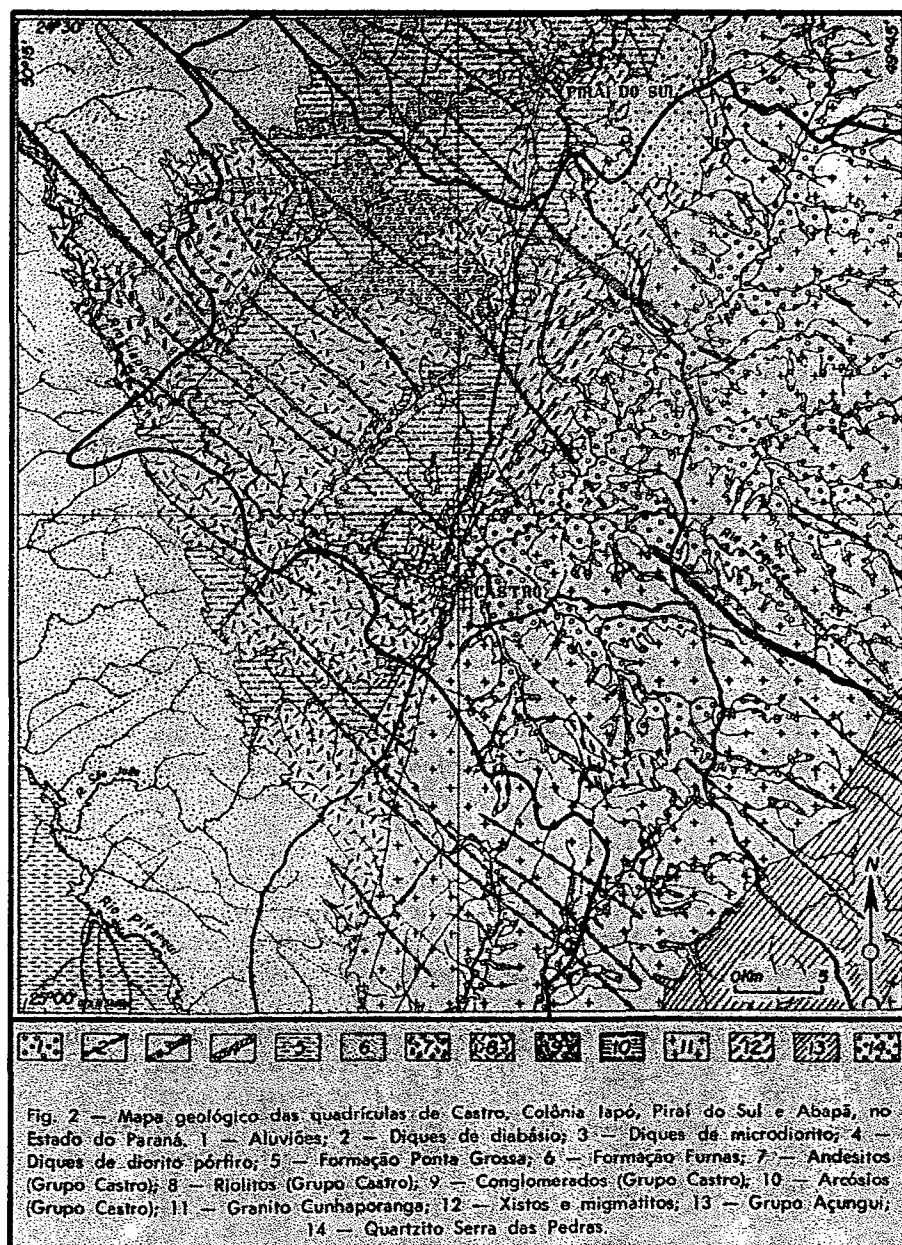
MAPA 01 – Localização do município de Castro, PR, onde situa-se a região do ABC

3.1.3. Geologia

As litologias que compõem o Grupo Castro ocupam uma área de aproximadamente 900 Km², estando representados nas quadrículas de Castro, Colônia Iapó, Piraí do Sul e Abapã (Mapa 02).

Riolitos e sedimentos do Grupo Castro estão em contato, a leste, com o Granito Cunhaporanga, Migmatitos, Xistos e o Quartizito Serra das Pedras (FUCK, 1967). Esse contato, em sua maior extensão, se dá por falhas regionais de direção N 15°-20° E até N 30° E. Ao norte, as litologias desse grupo estendem-se para além dos limites das quadrículas da Colônia Iapó e Piraí do Sul, podendo presumir que ocupem uma área bem maior do que a constada até o presente. A oeste, estão recobertos em discordância angular pelos arenitos da Formação Furnas, do Devoniano inferior.

Os riolitos e outras rochas da sequência vulcânica ácida ocupam áreas situadas, principalmente, a oeste e sudoeste de Castro, entre os rios Piraí e Piraí-Mirim e nos arredores da cidade de Piraí do Sul. COUTINHO (1955) admite uma espessura superior a 150 metros para essa sequência. Em relação aos sedimentos do grupo, os riolitos constituem normalmente os altos topográficos da região. As rochas da área que podem ser classificadas como riolitos, são extremamente variadas em seu aspecto macroscópico, principalmente do ponto de vista textural. Possuem colorações também variáveis, mas que normalmente são castanhas, vermelhas, rosadas, cinza-claras e castanho-escuras. O teor e tamanho dos fenocristais variam amplamente, podendo estar representados por feldspatos rosados, ou por quartzo arredondado e hialino, ou ainda, por ambos. A mineralogia dos riolitos é essencialmente composta por quartzo, feldspatos alcalinos (ortoclásio



MAPA 02 – Mapa Geológico da região em estudo, com as distintas litologias presentes

e, provavelmente, sanidina), sericita, vidro vulcânico e, possivelmente, cinzas.

O Granito Cunhaporanga tem uma forma alongada, de rumo nordeste-sudoeste, e cobre uma área superior a 2.000 Km². Entretanto, somente a porção sul da sua área de afloramento é conhecida pormenorizadamente. Tal batólito aflora desde o sopé da escarpa do Arenito Furnas, na região dos Alagados, no limite dos municípios de Castro e Ponta Grossa, até desaparecer novamente sob a escarpa do mesmo arenito, ao sul de Jaguariaíva. A rocha tem textura predominantemente porfiróide de granulação média a grossa, de cor cinza clara a rósea, que engloba uma proporção variável de cristais porfiróides de feldspato róseo. Os minerais dominantes na rocha são quartzo, microclínio, oligoclásio, hornblenda e biotita (FUCK et al., 1967). Segundo o mesmo autor os minerais acessórios são muscovita, fluorita, titanita, zircão, apatita, alanita, turmalina, ilmenita e outros opacos e os minerais de alteração são clorita, pistacita, sericita, calcita e zoisita.

Nos sedimentos do Grupo Castro há um predomínio acentuado dos arenitos arcossianos sobre os siltitos, siltitos argilosos e argilitos. Esses últimos normalmente ocorrem intercalados na forma de lentes ou camadas pouco espessas nos arcósios.

Os arenitos arcossianos se alternam, numa sucessão por vezes bastante expressiva, com finas camadas de siltitos e argilitos, determinando o aparecimento de um caráter rítmico bastante pronunciado nesses depósitos. A ritmicidade deposicional é comum notadamente nos sedimentos mais finos dessa unidade. As camadas, com uma espessura de poucos centímetros apresentam uma estratificação paralela proeminente. Os siltitos, em especial, apresentam via de regra elevada quantidade de minerais micáceos (FUCK et al., 1967).

No caso particular dos arcósios, a litologia é composta de quantidades

variáveis de quartzo e feldspatos e um teor também variável, embora geralmente baixo, de minerais micáceos, imerso em matriz siltico-argilosa. Uma análise petrográfica dos arcósios dessa região, referida por COUTINHO (1955), revelou 40 a 50% de feldspatos e sericita, além de quartzo, como também de grãos arredondados de plagioclásios sódicos, imerso em matriz sericítico-limonítica.

A sequência sedimentar também é composta por várias unidades litológicas menores intimamente relacionadas, com frequentes intercalações de arcósios com siltitos, siltitos argilosos, e mesmo argilitos, os quais, do ponto de vista de representação cartográfica, não puderam ser individualizados, tendo sido agrupados numa só unidade. WOODWORTH (1916) foi o primeiro autor a assinalar a existência de conglomerados como constituintes deste conjunto sedimentar, para o qual reconheceu uma posição intermediária entre as rochas epimetamórficas do Grupo Açungui e os arenitos devonianos da Formação Furnas. Os conglomerados associados puderam ser separados como unidade litológica distinta e, como tais, foram representados nos mapas geológicos dessa área.

A matriz dos conglomerados é predominantemente arenosa grosseira, feldspática (arcosiana) e lítica, pela abundância de pequenos fragmentos de rocha de natureza riolítica. Subordinadamente ocorrem seixos esporádicos de quartzitos, quartzo leitoso, migmatitos, arenitos micáceos, arenitos arcosianos e siltitos da própria sequência sedimentar de níveis sotopostos e, grânulos euédricos ou fragmentos de feldspatos. Cabe ainda uma breve referência a um conjunto de sedimentos mais recentes do que a sequência sedimentar do Grupo Castro, sobre a qual repousam em discordância angular. São sedimentos pouco consolidados, constituídos de arenitos e arcósios, com grãos grosseiros de quartzo, feldspatos e fragmentos de rochas em matriz argilosa, além de conglomerados e níveis de argilas

plásticas (ALMEIDA, 1952; COUTINHO, 1955).

Os sedimentos em apreço, ainda sem denominação, ocorrem notadamente ao longo dos rios Pirai, Iapó e seus afluentes da margem esquerda, ao sul de Castro e na estrada Castro-Tibagi. As melhores exposições situam-se em cortes da rodovia Castro-Pirai do Sul.

Até o momento, desconhece-se a origem e o ambiente de formação desses depósitos, provavelmente quaternários, que repousam em discordância sobre granitos, gnaisses, xistos, quartzitos, arcósios e riolitos da região.

Na unidade de sedimentos, esses se apresentam, via de regra, bem litificados, mas não chegam a ressaltar na topografia porque o intemperismo age com acentuada intensidade sobre essas rochas. O relevo nas áreas de sua ocorrência é, por esse motivo, suavemente colinoso e topograficamente rebaixado em relação aos riolitos.

Diques de diabásio, microdiorito, diorito-pórfiro e dacito cretáceos, cortam, indistintamente, todas as sequências do Grupo Castro, num padrão de direção que oscila entre N 40°-60° W.

Portanto, verifica-se que o município de Castro apresenta geologia complexa, com presença de diferentes materiais de origem, desde rochas ígneas, metamórficas e sedimentares até sedimentos pouco consolidados do Quaternário. Como resultado, espera-se grande variação na reserva de nutrientes nos solos formados, notadamente relacionado ao K.

3.1.4. Unidades de Solos

Os perfis amostrados para o estudo, que envolvem diferentes unidades de solo, foram nominados de acordo com o material de origem a que pertencem, tendo as seguintes notações: Granito - P1Gr; Embrechito - P2Em; Arenito - P3Ar; Argilito, Siltito e Arcósio - P4Si/Arc; Micaxisto - P5Mi e P6Mi; Riólito - P7Ri; Diques de Diabásio - P8Di e P9Di; Conglomerados - P10Co. As características das diferentes unidades de solo incluídas na amostragem, utilizada na execução do projeto de pesquisa, estão descritas a seguir (EMBRAPA 2001):

— CAMBISSOLO HÁPLICO Distrófico típico, textura média a argilosa, relevo suave ondulado e ondulado, fase campo e floresta subtropical (Perfis P1Gr, P4Si/Arc, P6Mi e P10Co).

— CAMBISSOLO HÁPLICO Eutroférico típico, textura argilosa, relevo ondulado, fase campo e floresta subtropical (Perfis P8Di).

— LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, textura argilosa, fase campo e floresta subtropical, relevo suave ondulado (Perfis P2Em e P7Ri).

— NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico, textura média, fase floresta subtropical, relevo montanhoso e escarpado (Perfil P3Ar).

— NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, textura argilosa, fase campo subtropical, relevo ondulado (Perfil P5Mi).

— LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico, textura muito argilosa, fase campo subtropical, relevo suave ondulado (Perfil P9Di).

3.2. COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO

O principal critério utilizado na amostragem foi o material de origem, mas também se levaram em consideração a topografia, textura e profundidade do solo. As amostras foram coletadas em áreas com diferentes materiais de origem, os quais são: granito, embrechito, arenito, siltito e arcósio, micaxisto, riolito, conglomerado e diques de diabásio. Para verificar a relação entre reserva mineral e grau de intemperismo do solo, no micaxisto e no diabásio foram amostrados dois solos com diferentes estádios de desenvolvimento (CAMBISSOLO, NITOSSOLO E LATOSSOLO) perfazendo um total de dez coletas. Para cada unidade amostrada, procurando eliminar a interferência de possíveis adubações, visto que, o K é um nutriente com alta mobilidade, o solo foi coletado de áreas onde não ocorreram intervenções antrópica. Para tal, foram abertas trincheiras, de onde se coletou cerca de 30 kg de solo, misturando os horizontes compreendidos entre 0 a 40 cm de profundidade, onde se verifica o maior crescimento e distribuição radicular, simulando assim, o plantio do trigo nas condições de campo. Cada ponto de amostragem atingiu os seguintes horizontes: P1 (Granito), horizonte A de 0 a 30 cm e horizonte AB de 30 a 40+ cm; P2 (Embrechito), horizonte A de 0 a 26 cm, horizonte AB de 26 a 36 cm e horizonte B de 36 a 40+ cm; P3 (Arenito), horizonte A de 0 a 40+ cm; P4 (Argilito, Siltito e Arcósio), horizonte A de 0 a 25 cm, horizonte AB de 25 a 35 cm e horizonte B de 35 a 40+ cm; P5 (Micaxisto), horizonte A de 0 a 40 cm; P6 (Micaxisto), horizonte A de 0 a 12 cm e horizonte B de 12 a 40+ cm; P7 (Riolito), horizonte A de 0 a 40+ cm; P8 (Diabásio), horizonte A de 0 a 35 cm e horizonte B de 35 a 40+ cm; P9 (Diabásio), horizonte A de 0 a 35 cm e horizonte B

de 35 a 40+ cm; P10 (Conglomerado), horizonte A de 0 a 18 cm, horizonte AB de 18 a 30 cm e horizonte B de 30 a 40+ cm.

3.3. INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

As amostras de solo foram secadas ao ar e passadas em peneira de 6 mm para que, posteriormente, se efetuasse análise química de rotina, calagem e adubação das diferentes unidades de solo. Após este procedimento, as amostras foram homogeneizadas, divididas em três porções e acondicionadas em vasos. Os vasos foram colocados em casa-de-vegetação para a condução do trabalho experimental. Assim, a unidade experimental foi constituída por um vaso com 4 dm³ de solo com densidade de semeadura de 400 sementes aptas de trigo da cultivar BRS 49 por metro quadrado (OCEPAR, 1995), o que resultou em 10 plantas por vaso. Os vasos foram regados periodicamente à capacidade de campo. As três repetições por tratamento foram delineadas em blocos casualizados, perfazendo um total de 30 unidades experimentais.

A necessidade de calagem para cada amostra de solo foi determinada em função dos resultados da análise química (Quadro 01), realizada segundo PAVAN et al. (1992) e da porcentagem de saturação de bases, onde se aplicou a quantidade de calcário necessária para atingir o valor de 70% (OCEPAR, 1995). Estabeleceu-se um teor mínimo de Mg no solo de 5 mmol/dm³ (RAIJ et al., 1996). Para isso, utilizou-se calcário dolomítico, evitando, desta forma, que ocorresse um desequilíbrio entre os nutrientes Ca/Mg. A adubação com micronutrientes foi completa e aplicada em

solução antes do plantio, tendo os seguintes elementos e concentrações em mg dm^{-3} : Boro-0,5, Cobre-1,5, Ferro-5,0, Molibdênio-0,1, Zinco-5,0 e Manganês-2,5 (MALAVOLTA, 1980). A adubação com macro também foi completa, com a exceção do K. A adubação nitrogenada foi parcelada, a qual teve como critério a produtividade esperada. Uma quantidade proporcional de N, em kg ha^{-1} , foi aplicada na semeadura (base) e outra parcela em cobertura na forma de solução nutritiva, 40 dias após emergência (OCEPAR, 1995; RAIJ et al., 1996). Na adubação fosfatada, também se levou em consideração a análise do solo (Quadro 01), que de acordo com o resultado do teor de P, calculou-se a dose proporcional a ser aplicada em Kg de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (OCEPAR, 1995; RAIJ et al., 1996). Desta forma, as quantidades totais aplicadas de corretivo e fertilizantes foram as seguintes: N, 40 Kg ha^{-1} na forma de sulfato de amônio; P (P_2O_5), 120 Kg ha^{-1} na forma de superfosfato triplo; e calcário dolomítico, variando entre os diferentes solos de 4,0 a 8,0 t ha^{-1} .

QUADRO 01 – Análise química de rotina nos perfis de solo selecionados

Perfil	pH CaCl ₂	Al ⁺³	H+Al	Ca ⁺² +Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁺	T	P mg dm ⁻³	C g dm ⁻³	pH SMP	V %
		cmol _c dm ⁻³									
P1Gr	3,90	2,60	9,00	0,50	0,30	0,05	9,55	3,5	17,8	5,20	5,76
P2Em	4,20	1,40	9,00	0,50	0,40	0,08	9,58	1,5	23,2	5,20	6,05
P3Ar	4,00	2,60	8,40	0,30	0,20	0,11	8,81	1,2	15,4	5,30	4,65
P4Silt/Arc	4,20	2,80	9,70	0,80	0,50	0,19	10,69	0,6	17,8	5,10	9,26
P5Mi	4,20	2,10	8,40	0,60	0,40	0,06	9,06	1,0	18,4	5,30	7,28
P6Mi	4,20	2,70	7,20	0,30	0,20	0,12	7,62	0,8	8,8	5,50	5,51
P7Ri	4,10	3,70	11,30	0,40	0,30	0,19	11,89	0,8	14,8	4,90	4,96
P8Di	4,90	0,30	2,70	6,10	4,30	0,33	9,13	1,0	8,8	6,30	70,43
P9Di	4,10	3,70	6,70	0,90	0,50	0,22	7,82	0,8	19,6	5,60	14,32
P10Co	4,40	2,80	7,20	3,90	1,10	0,16	11,26	1,5	10,0	5,50	36,06

3.4. AMOSTRAGEM E ANÁLISE QUÍMICA DO MATERIAL VEGETAL

A coleta do material vegetal foi feita mediante o corte das plantas de trigo

dos vasos após o término de seu ciclo, sendo coletados separadamente os grãos, parte aérea e raízes. O material coletado foi seco em estufa 70°C até peso constante e moído para análise química dos tecidos vegetais, de acordo com a metodologia de fusão via seca com HCl 3 mol L⁻¹, apresentada por TEDESCO et al., (1985). Para proceder as análises foi pesado, para cada amostra, 1 g de tecido vegetal moído e colocado em mufla a 500°C durante 3 horas. Posteriormente adicionou-se 5 gotas de HCl 3 mol L⁻¹ colocando-se novamente na mufla por mais 3 horas a 500°C. Após o resfriamento adicionou-se 10 ml de HCl 3 mol L⁻¹ e a mistura foi aquecida em chapa quente a 80°C por aproximadamente 10 minutos, cuidando-se para não ferver a solução. Ao final, a solução foi filtrada para balão volumétrico de 100 mL, e o volume completado com água deionizada. Após as extrações o K foi determinado por fotometria de emissão de chama.

3.5. ANÁLISES FÍSICAS DAS AMOSTRAS DE SOLO

As análises físicas das amostras de solo dos diferentes perfis foram conduzidas segundo a EMBRAPA (1997). A densidade aparente (g cm⁻³) das amostras foi feita através do método da proveta, determinando-se o peso de solo compactado necessário para completar o volume de uma proveta de 100 mL. Os resultados foram utilizados para preenchimento dos vasos, tomando-se o peso das amostras para se ter a unidade experimental com 4 dm³ de solo. Já a análise textural das amostras foi feita pelo método da pipeta, retendo-se a fração areia por tamização e separando as frações argila e silte por sedimentação.

3.6. ANALISES QUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE SOLO

A análise química do solo é um dos sistemas mais usados para avaliação da fertilidade do mesmo, procurando determinar o grau de suficiência ou deficiência de nutrientes no solo, além de quantificar condições adversas que apresentam efeitos prejudiciais ao desenvolvimento das culturas (acidez, salinidade, toxidez de Al, etc), através do uso de extratores químicos. As extrações foram feitas na terra fina seca ao ar (TFSA), que vem a ser o solo seco, moído e passado em peneira de 2 mm de diâmetro, e o K extraído por diferentes métodos foi determinado por fotometria de emissão de chama.

3.6.1. Determinação dos teores trocáveis de K

Para avaliar os teores de K trocável no solo, utilizou-se os extratores de Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025 \text{ N}$) (PAVAN et al., 1992), em amostras obtidas antes e após o plantio, e o oxalato de amônio 1 mol L^{-1} (BRAGA, 1980), apenas em amostras coletadas antes do plantio.

3.6.2. Determinação dos teores não-trocáveis de K

Para a extração de K não-trocável foi utilizado o HNO_3 fervente como extrator (PRATT, 1965). Foram colocados 10 g de amostra da TFSA antes do plantio

em frascos de vidro, na presença de 100 mL de solução de HNO_3 , sendo utilizadas concentrações crescentes desse ácido: 0,25N; 0,5N; 1,0N; 2,0N e 4,0N. Os frascos foram depositados sobre bandeja de alumínio, contendo óleo vegetal, colocada sobre chapa quente. Nesta condição, os frascos permaneceram durante um período de 15 minutos em fervura, sendo a temperatura do óleo mantida em 113 °C. Em seguida, os extratos obtidos foram filtrados para balão de 100 mL e o solo retido no papel-de-filtro, foi submetido a quatro lavagens com 15 mL de solução 10 vezes menos concentrada de HNO_3 que as utilizadas na extração. Os volumes dos balões foram completados, usando-se as mesmas soluções empregadas na lavagem.

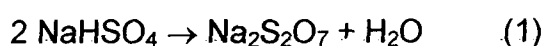
3.6.3. Extração de mica e demais minerais 2:1

A mica é uma importante fonte de K estrutural, tanto para solos jovens como para solos altamente intemperizados. Por meio do tratamento do solo com NaHSO_4 (JACKSON, 1979) foi possível relacionar o K liberado pela remoção da mica com a absorção do nutriente pelas plantas, verificando, assim, a importância do intemperismo deste mineral na nutrição potássica do trigo.

A extração dos minerais micáceos e liberação de K foi conduzida em amostras de TFSA e na fração argila do solo antes do plantio e na porção rizosférica após o plantio. A retirada da porção de solo mais próxima das raízes, na unidade experimental mais produtiva de cada tratamento, foi feita manualmente retirando-se todo o solo úmido do vaso e por meio de pequenos golpes despreendeu-se a matriz do solo, separando-a o máximo possível do solo rizosférico.

Foi colocado cerca de 0,2 g de amostra em um béquer de teflon de 150 mL e adicionaram-se 15 g de NaHSO_4 na forma de cristais (JACKSON et al., 1986, com modificações propostas por MELO et al., 2002ab). Com auxílio de um bastão de vidro, os cristais foram homogeneizados com a amostra e o béquer foi levado ao banho de areia. Inicialmente manteve-se a temperatura mais baixa (em torno de 200°C), em razão da fervura intensa da suspensão durante os primeiros 25 minutos. A fervura tornou-se branda após 40 minutos de reação, e, devido a aumentos progressivos, a temperatura alcançou 250°C . Em seguida, os béqueres permaneceram no banho de areia por mais duas horas a uma temperatura de 270°C . Ao final da reação (após 2 horas e 40 minutos), a mistura transformou-se num resíduo seco bastante endurecido, doravante denominado bolo. A dissolução do bolo foi feita mediante lavagens com HCl 3 mol L^{-1} . A primeira lavagem foi com 40 mL de ácido em banho de areia a 80°C , por uma hora. A suspensão foi transferida para tubos de centrifuga e, após centrifugação, o sobrenadante foi colocado em balão volumétrico de 100 mL. Nova alíquota de 30 mL de ácido foi adicionada ao tubo de centrifuga, e o bolo, colocado em suspensão, foi transferido para o béquer. Após 30 minutos em banho de areia a 80°C , a suspensão foi centrifugada e o sobrenadante colocado no mesmo balão volumétrico da primeira lavagem. Para garantir a completa dissolução do bolo, uma terceira lavagem foi empregada, utilizando a mesma quantidade de ácido e o mesmo tempo de reação no banho de areia da segunda lavagem. Após a transferência da terceira alíquota de HCl , o volume do balão foi completado e o extrato transferido para frascos, para dosagem de K. O resíduo no tubo de centrifuga foi lavado três vezes, sendo duas com 100 mL de $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ $0,5\text{ mol L}^{-1}$ e outra com 100 mL de água deionizada. Tomou-se o peso seco do resíduo (peso final).

A utilização de cadinhos de sílica vítrea (quartzo fundido) com tampas em rosca, proposta por JACKSON et al. (1986), aquecidos em bico de burner, foi substituída pelo uso de béqueres de teflon em sistema aberto em banho de areia (MELO, 1998). Segundo os primeiros autores, seria importante manter o sistema fechado para reduzir a perda de SO_3 , prolongando a fusão e evitando o acúmulo de Na_2SO_4 (reações 1 e 2).



Na verdade a extração em sistema aberto não é eficiente para extração de mica, principalmente para aquelas bem cristalinas e em amostras com alto teor do mineral (MELO et al., 2002c). Contudo, para o objetivo do trabalho é mais interessante a extração parcial dos minerais micáceos, pois o método realizado em sistema aberto extrai preferencialmente as partículas menores e de pior cristalinidade, logo, espera-se que a liberação de K proveniente da dissolução destas partículas correlaciona-se melhor com a absorção pelas plantas, em apenas um ciclo do trigo (partículas mais fáceis de intemperizar e liberar K).

3.6.4. Determinação dos teores totais de K

Para determinar os teores totais de K na TFSA, em amostras antes do plantio, utilizou-se o método da digestão com HF concentrado apresentado por

JACKSON et al. (1986), com adaptações propostas por MELO (1998).

Optou-se pela utilização apenas de HNO_3 , dispensando-se o emprego de HClO_4 . Foram colocadas cerca de 0,1 g de amostra (pesada em balança de precisão com quatro dígitos) num béquer de teflon com capacidade de 150 mL. A amostra foi umedecida com 5 gotas de H_2SO_4 e, em seguida, acrescentaram-se 5 mL de HF e 1 mL de HNO_3 . Os béqueres foram distribuídos em banho de areia a 230°C , onde permaneceram por, aproximadamente, 15 minutos. Uma nova porção de 5 mL de HF foi adicionada e os béqueres, foram deixados no banho de areia por mais 30 a 40 minutos, até completa evaporação (formação de resíduo seco). Ao resíduo, foram adicionados 2 mL de água e 10 gotas de HNO_3 , deixando-se evaporar em ambiente aberto. No final, para dissolução do resíduo, 5 mL de HCl 6 mol L^{-1} e 5 mL de água foram adicionados, deixando os béqueres em banho de areia até o início de fervura. Para correção do volume os extratos finais foram aferidos em balões volumétricos de 100 mL.

3.7. ANALISES MINERALÓGICAS DAS AMOSTRAS DE SOLO

Foram feitas antes e após o cultivo para verificar as variações mineralógicas nos solos em estudo em função da absorção de K pelas plantas. Para os solos após o plantio, também foram feitas essas análises na porção rizosférica.

3.7.1. Remoção da matéria orgânica do solo e separação das suas frações.

Com base na textura dos solos, pesaram-se 20 g de TFSA, com número de repetições necessárias para se ter quantidade suficiente de argila e silte após a separação, para as análises subsequentes. As amostras foram colocadas em béqueres de 250 mL e submetidas a temperaturas constantes de 70°C em banho maria. Adicionaram-se pequenas quantidades de água oxigenada 30 volumes até o término da efervescência. Deixaram-se as amostras sob esta temperatura até eliminar o excesso de água oxigenada. Em seguida, elas foram transferidas para frascos plásticos de 100 mL com tampa em rosca. Adicionaram-se 50 mL de NaOH 0,2 N e agitou-se durante 30 minutos em agitador horizontal. O conteúdo foi passado através de peneira com malha de 0,05 mm, retendo-se a fração areia, e a suspensão foi recolhida em provetas de 1000 mL. A fração areia foi seca e acondicionada para posteriores análises. Para separar as demais frações, completou-se o volume das provetas e, tomando como base a velocidade de sedimentação calculada pela Lei de Stocks (GEE & BAUDER, 1986), deixou-se o tempo necessário para promover a descida da fração silte. Após o repouso, com o uso de um sifão, transferiu-se a suspensão para um recipiente, obtendo-se a fração argila. Prosseguiu-se o sifonamento até que a suspensão sobrenadante tornou-se clara.

A suspensão de argila foi floculada pelo ajustamento do pH para 4,0, eliminando-se o excesso de solução. As frações silte e argila foram secas em estufa a 50°C e acondicionadas em frascos com tampa.

3.7.2. Caracterização mineralógica das frações areia, silte e argila.

A identificação dos minerais presentes nas frações areia, silte e argila, foi feita por difratometria de raios-X (DRX) (WHITTIG & ALLARDICE, 1986). As frações foram moídas em almofariz e montadas em placas de Koch (lâmina não orientada) (BESSOAIN, 1985). A velocidade do goniômetro foi de $1^\circ 2\theta/\text{minuto}$, com amplitude de 4 a $65^\circ 2\theta$. O difratômetro, equipado com tubo de cobre e utilizando radiação de $\text{CuK}\alpha$, foi operado a 25 mA e 35 Kv, para todas as análises realizadas.

Para as amostras da fração argila, foram feitos vários tratamentos para diferenciar os minerais presentes (WHITTIG & ALLARDICE, 1986): a) saturação com Mg e secagem ao ar, para diferenciar minerais do tipo 2:1 expansíveis (vermiculita e montmorilonita) dos não expansivos (micas); b) saturação com Mg e solvatação com glicerol, para diferenciar vermiculita e esmectita; c) saturação com K e secagem ao ar, para diferenciar clorita, vermiculita e vermiculita com hidróxi entre camadas (VHE); d) saturação com K e aquecimento a 300°C , para diferenciar clorita e VHE; e e) saturação com K e aquecimento a 550°C , para diferenciar clorita e minerais interestratificados e concentrar minerais do tipo 2:1. Após os tratamentos, as amostras foram montadas em lâminas de vidro, utilizando-se a técnica do esfregaço (amostras orientadas) e analisadas por DRX, com amplitude de 3 a $15^\circ 2\theta$ e velocidade de $1^\circ 2\theta/\text{minuto}$.

3.8. ANÁLISE DOS DADOS

3.8.1 Balanço Nutricional de K

Antes e após o cultivo do trigo em cada solo e unidade experimental, foram determinados os teores de K trocável, extraídos com Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025 \text{ N}$). Na repetição onde se amostrou o solo rizosférico para as análises mineralógicas e química, os teores de K trocável após plantio foram determinados separadamente para as duas porções de solo (rizosférico e não-rizosférico). Os conteúdos de K trocável foram calculados, tanto antes quanto após o plantio, através do produto entre os teores e os pesos totais dos solos nos vasos de 4 dm^3 ou pela soma entre o conteúdo de K trocável nos solos rizosféricos e não-rizosféricos, levando-se em conta o teor de K e o peso de cada porção de solo. Pela diferença entre os conteúdos de K no solo, antes e após o plantio, encontrou-se a quantidade de K trocável removida do solo em função do cultivo. Em seguida, determinou-se o conteúdo total de K absorvido pelas plantas, considerando a produção de matéria seca e o teor do nutriente de cada componente (parte aérea, grãos e raízes). A partir da comparação entre a quantidade de K absorvida pelas plantas e a quantidade de K trocável removido do solo durante o cultivo, fez-se à estimativa da contribuição das diferentes formas de K na nutrição do trigo.

3.8.2 Procedimento Estatístico

Os dados obtidos foram submetidos a Análise de Variância e Correlação de Pearson, sendo que, nesta última, procurou-se relações significativas entre os teores de K extraídos do solo pelas diferentes metodologias aplicadas com a produção e conteúdo de K das plantas, buscando-se detectar a influência das formas não-trocáveis do nutriente presentes no solo na nutrição mineral do trigo,

dentro das condições experimentais adotadas.

As análises foram feitas utilizando-se o Programa SAEG desenvolvido pelo Centro de Processamento de Dados da Universidade Federal de Viçosa (RIBEIRO JR., 2001).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS PERFIS DE SOLO

As características físicas dos solos em determinadas condições assumem função preponderante na produtividade da planta. Solos mal arejados, muito compactos ou saturados de água prejudicam o desenvolvimento das plantas, principalmente devido à falta de oxigênio. No presente estudo, com exceção da reduzida profundidade de alguns solos mais jovens, não se verificou a campo impedimentos que limitassem o desenvolvimento do sistema radicular, onde observou-se a distribuição homogênea de raízes até a profundidade amostrada.

O Quadro 02 mostra os horizontes coletados na profundidade de 0 a 40 cm e a textura em cada solo estudado, sendo ambas, características importantes para a avaliação da reserva mineral do solo. Os perfis P6Mi e P10Co, além de serem originados de micaxisto e conglomerados, rochas consideradas ricas mineralogicamente (COUTINHO, 1955; FUCK et al., 1967), apresentaram solos jovens com participação mais expressiva do horizonte B até a profundidade de 40 cm, indicando uma maior reserva de K nesses solos. O horizonte superficial (A) dos solos caracteriza-se por ser mais velho e intemperizado quando comparado com os horizontes subsuperficiais (B), logo, maiores contribuições de nutrientes serão provenientes dessas camadas mais profundas, como verificado por MELO (1994).

A textura do solo associada a qualidade mineralógica das frações areia, silte e argila determinam a reserva mineral do solo. Em geral, a fração argila foi a

principal constituinte dos solos estudados (Quadro 02). Os menores teores desta fração foram encontrados nos solos mais jovens e naqueles desenvolvidos de sedimentos mais grosseiros (P3Ar e P10Co). Os elevados teores de argila nos solos mais intemperizados é de extrema importância, visto que, a fração areia destes solos é constituída, normalmente, de quartzo, com baixa reserva de nutrientes. Espera-se que o intemperismo e, conseqüentemente, a liberação do K seja mais rápida em partículas mais finas, em virtude da maior superfície específica dos minerais e da menor distância em que os íons devem difundir. TRIBUTH et al. (1987), avaliando o efeito da redução de K na solução do solo sobre intemperismo de mica, após três anos de cultivo, encontraram diminuição no tamanho do pico da illita nos difratogramas de raios-X, em detrimento do aumento no pico das esmectitas, indicando a transformação dessas formas no solo com o período de cultivo. A transformação foi maior na porção mais fina da fração argila ($< 0,06 \mu\text{m}$).

Segundo FANNING et al. (1989) pode haver uma inversão na liberação desse nutriente, onde partículas mais grosseiras liberam K a uma taxa maior em relação à liberação inicial. Esse comportamento foi visualizado na extração de K em amostras de muscovita com solução de sódio-tetrafenil-boro, onde verificou-se que para partículas mais finas desse mineral a liberação foi maior que 50 % nas primeiras horas de extração e, a partir daí, houve pequeno incremento com o tempo de contato com a solução extratora. Já para as partículas maiores, a extração inicial foi pequena, seguida por um período de expressiva liberação de K. Para partículas de 50 a 60 μm a extração total ocorreu para um período superior a três anos e para partículas de 10 a 20 μm esse período caiu para dois anos.

QUADRO 02 – Profundidade de horizontes, análise granulométrica e classificação textural na profundidade de 0 a 40 cm nos perfis de solo selecionados

Perfil	Horiz.	Profund.	Areia	Silte	Argila	Classific. Textural ²
		cm				
P1Gr	A	0 – 30	50,8	13,1	36,1	Argilosa
	AB	30 – 40+				
P2Em	A	0 – 26	15,2	21,7	63,1	Muito argilosa
	AB	26 – 36				
P3Ar	B	36 – 40+	71,6	11,4	17,0	Média
	A	0 – 40+				
P4Silt/Arc	A	0 – 25	35,5	16,5	48,0	Argilosa
	AB	25 – 35				
P5Mi	B	35 – 40+	33,8	13,5	52,7	Argilosa
	A	0 – 40				
P6Mi	A	0 – 12	47,7	21,5	30,8	Média
	B	12 – 40+				
P7Ri	A	0 – 40+	23,2	18,2	58,6	Argilosa
P8Di	A	0 – 35	21,8	22,2	55,9	Argilosa
	B	35 – 40+				
P9Di	A	0 – 35	8,8	12,6	78,6	Muito Argilosa
	B	35 – 40+				
P10Co	A	0 – 18	64,3	9,8	25,9	Média
	AB	18 – 30				
	B	30 – 40+				

¹ a soma Areia + Silte + Argila equivale a 100 %.

² classificação textural do solo consultando o triângulo textural (EMBRAPA, 1995).

4.2. CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DAS FRAÇÕES DO SOLO

A caracterização mineralógica das frações argila, silte e areia mostraram a presença de minerais primários, como mica e feldspato potássico (Quadro 03), que representam fontes potenciais de potássio, contribuindo para o suprimento deste nutriente para as plantas. Com relação à reserva mineral, a biotita presente nas frações mais finas dos solos representam uma reserva mineral de K de curto prazo (DA COSTA, 1979) para as plantas. A caulinita foi o principal mineral da fração argila dos solos estudados (Quadro 03). Esse predomínio do mineral também foi observado em diversas classes de solos por vários autores (JUO, 1980; CURI & FRANZMEIER, 1984; SINGH & GILKES, 1992; MELO et al., 2001b). Com base nos teores de K extraídos da fração argila, antes do plantio, pelo tratamento com NaHSO_4 e considerando o teor médio de 100 g Kg^{-1} de K_2O na mica (JACKSON, 1979), foram estimados os teores do mineral nas amostras. Os teores variaram de 7 a 307 g Kg^{-1} (Quadro 03), sendo que os maiores valores foram obtidos para os solos mais jovens (NEOSSOLO: P3Ar e CAMBISSOLOS: P6Mi e P10Co), ou seja, menos intemperizados. Além disso, observa-se que o material de origem desses solos, Arenito (estratificado), Micaxisto e Conglomerado, são ricos em minerais primários fontes de potássio (COUTINHO, 1955; FUCK et al., 1967). Por outro lado, nos perfis P2Em, P4Si/Arc, P5Mi e P8Di os teores de K extraídos pelo NaHSO_4 foram baixos, concordando com o não aparecimento de reflexão de mica (1,0 nm) nos difratogramas de raio-X (Quadro 03). Os baixos teores de mica nestes solos podem ser atribuídos ao maior grau de intemperismo e/ou pobreza do material de origem em minerais micáceos.

QUADRO 03 – Composição mineralógica das frações areia, silte e argila do solo e teor de K extraído da fração argila antes plantio, pelo tratamento com NaHSO_4 , nos perfis de solo selecionados

Perfil	Mineral ¹			K mg Kg ⁻¹	Mica ² —g Kg ⁻¹ —	Mica ³
	Areia	Silte	Argila			
P1Gr	Qz, hm, gb, mi (traço)	Qz, ct, gb, hm	Ct, gb, gt, hm, vhe, mi (traço)	1988	24,0	25,1
P2Em	Qz, gb, ct, hm, im	Qz, ct, gb, hm	Ct, gb, gt, hm	605	7,3	7,9
P3Ar	Qz, mi	Qz, ct, mi	Ct, Gb, mi, vhe, gt, qz, interestratificados mi-vhe	24018	289,5	295,4
P4Si/Arc	Qz, ct	Qz, ct, mi, gb, hm	Ct, gb, gt, hm, vhe, mi (traço)	6286	75,8	76,9
P5Mi	Qz, hm, fd-k (traço)	Qz, ct, hm, mi (traço)	Ct, gb, gt, hm, vhe	2432	29,3	30,5
P6Mi	Qz, fd-k	Qz, ct, gt, k-fd, hm, mi	Ct, mi, gt, qz, gb, vhe, interestratificados mi-vhe	8360	100,8	100,8
P7Ri	Qz, hm, mi (traço)	Qz, ct, hm, mi, cl	Ct, gb, qz, gt, mi (traço), cl (traço)	4013	48,4	49,0
P8Di	Qz, ma, hm, im	Qz, ct, hm, im	Ct, gt, hm, vhe, gb (traço)	2482	29,9	30,5
P9Di	Qz, hm, ma (traço)	Qz, ct, il, hm	Ct, gb, qz, gt, hm, cl, mi (traço)	4507	54,3	55,5
P10Co	Qz, mi (traço), fd-k (traço)	Qz, mi, ct, fd-k	Ct, mi, fd-k, vhe, interestratificados mi-vhe, gt, hm	25500	307,3	316,2

¹ A primeira letra maiúscula indica o predomínio do mineral: qz=quartzo, mi=mica, im=ilmenita, fd-k=feldspato potássico, ma=magnetita, cl=clorita, ct=caulinita, gb=gibssita, gt=goethita, hm=hematita, vhe=vermiculita hidróxi entre camadas e il=ilita. O termo traço indica o aparecimento de apenas discretas reflexões do mineral por DRX.

² Teor de mica estimado na fração argila antes plantio a partir do K extraído pelo NaHSO_4 e considerando uma concentração média de 100 g Kg⁻¹ de K₂O no mineral.

³ Teor de mica estimado na fração argila do solo rizosférico, após plantio, a partir do K extraído pelo NaHSO_4 e considerando uma concentração média de 100 g Kg⁻¹ de K₂O no mineral.

Diversos autores relatam a importância dos minerais presentes nas frações mais finas do solo na liberação de formas não-trocáveis de K para a solução do solo, ao longo de cultivos, e sua importância na nutrição das plantas (SMITH & MATTHEWS, 1957; RICE & KAMPRATH, 1968; CRISTENSON & DOLL, 1973; TRIBUTH et al., 1987; RICHARDS & BATES, 1988; RICHARDS et al., 1988; SIMARD et al., 1992). Além disso, é importante ressaltar que a presença de vermiculita com Al-hidróxi entre camadas, encontrada na fração argila de solos ácidos e intemperizados, é determinante na dinâmica de K, devido a contribuição na CTC desses solos, evitando maiores perdas de K por lixiviação e tornando-o disponível para as plantas ao longo do cultivo (SANZ-SCOVINO & ROWELL, 1988;

SANZ-SCOVINO et al., 1992). No presente estudo, verificou-se a ocorrência deste mineral na maioria dos perfis (Quadro 03).

O quartzo foi o mineral predominante nas frações silte e areia em todos os perfis (Quadro 03). O solos mais jovens, conforme observado na fração argila, (NEOSSOLO: P3Ar e CAMBISSOLOS: P6Mi e P10Co) também apresentaram reflexões características de minerais primários fontes de K (mica e feldspato potássico). Nestas frações mais grosseiras também verificou-se a presença de caulinita que, possivelmente, é pseudomorfa de mica ou está presente na forma de agregados bastante estáveis que resistiram a dispersão com NaOH 0,2 mol L⁻¹ (MELO et al., 2000). A importância desses agregados como fontes de K estrutural pode ser significativa, principalmente para solos intemperizados com predomínio de quartzo nestas frações. MELO et al. (2000), por meio de técnicas de microscopia eletrônica de varredura, encontraram um teor médio de K₂O nesses agregados de 5,1 g Kg⁻¹ na fração areia. PINTO et al. (1972) observaram caulinita na fração areia e silte em solos da Região da Zona da Mata mineira, e a denominaram de pseudomorfa de mica, por se assemelhar muito ao mineral micáceo. Segundo os autores, a caulinita pode ser formada diretamente do intemperismo de feldspato e biotita presentes nas rochas, originando “flóculos de caulinita” do tamanho areia e silte.

4.3. ESTIMATIVA DA RESERVA DE POTÁSSIO

Diferentes métodos de extração foram empregados para estimar as formas de K nos solos, avaliando os teores disponíveis (solução do solo mais fração trocável), teores não-trocáveis e teores totais provenientes de formas mais estáveis.

Os perfis que apresentaram os menores teores de K, extraído com HF concentrado, foram P1Gr, P2Em, P5Mi, P7Ri e P8Di (Quadro 04), o que foi atribuído à pobreza em minerais primários fontes do nutriente nas diferentes frações dos solos desses perfis (Quadro 03). Verificou-se que, de maneira geral, nesses solos a camada de amostragem (0 - 40 cm) era constituída principalmente por horizontes superficiais (A e AB) (Quadro 02), o que contribuiu para uma menor reserva do nutriente. MELO (1994) observou tendência muito clara de a reserva do nutriente aumentar com a profundidade do solo, concordando com o aumento nos teores de silte mais argila do horizonte superficial para o horizonte B. A liberação de K total pode ser proveniente da presença de minerais micáceos nas frações mais finas do solo, mesmo que em pequenas quantidades não detectadas por DRX. MELO et al. (2002b) observou a presença de mica na fração argila de várias classes de Latossolos altamente intemperizados de diferentes regiões do Brasil. Segundo os autores, a quantidade era tão baixa (menor que 10 g Kg^{-1}) que a DRX não foi sensível o suficiente para detectar o mineral. Contudo, após concentração da amostra por extração de caulinita, gibssita e óxido de Fe amorfos e cristalinos, evidenciou-se reflexões características deste mineral ($d(001) = 1,0 \text{ nm}$) por DRX. Os autores também identificaram e analisaram partículas de mica nesses solos por microscopia eletrônica de transmissão. Outro fator que concorre para dificultar a

detecção de minerais micáceos por DRX é o reduzido tamanho e baixo grau de cristalinidade das partículas (FANNING et al., 1989).

QUADRO 04 – Teores de K na TFSA obtidos por diferentes métodos de extração, nos perfis de solo selecionados

Perfil	Método de Extração ⁽¹⁾								
	K-d	K-d'	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-t
	mg Kg ⁻¹								
P1Gr	23,46	21,21	14,67	15,65	20,54	26,41	45,98	555,25	1496,17
P2Em	39,10	36,76	20,54	22,50	23,48	36,20	51,85	456,45	801,14
P3Ar	50,83	48,16	46,96	71,42	195,66	841,34	1115,26	4161,45	4872,03
P4Si/Arc	82,11	79,25	53,81	63,59	72,39	135,01	1085,91	3766,25	4375,58
P5Mi	46,92	39,87	33,26	34,24	35,22	48,91	70,44	1543,25	1992,62
P6Mi	54,74	55,41	55,76	225,99	841,34	1663,11	2025,08	4754,25	22374,35
P7Ri	89,93	90,52	62,61	72,39	187,83	802,20	1115,26	1938,45	2886,23
P8Di	136,85	142,34	131,09	184,90	242,62	860,90	1262,00	1691,45	2389,78
P9Di	121,21	111,25	82,18	161,42	195,66	782,64	1115,26	3173,45	4276,29
P10Co	66,47	69,92	52,83	62,61	211,31	802,20	1144,61	11225,65	14106,00

⁽¹⁾ K-d = K disponível extraído com Mehlich-1; K-d' = K disponível extraído com Acetato de Amônio 1N; K-1, 2, 3, 4, 5 = K extraído com HNO₃ fervente nas concentrações de 0,25, 0,50, 1,00, 2,00 e 4,00 N, respectivamente; K-6 = K extraído com NaHSO₄; e K-t = K extraído pela digestão com HF concentrado.

No presente estudo, a proximidade dos valores de K extraídos pelo NaHSO₄ e pelo HF concentrado (Quadro 04) indica que, para a maioria dos perfis, a liberação de formas estruturais do nutriente pode ser atribuída a dissolução de minerais micáceos. Os únicos minerais primários portadores de K estrutural que resistem ao tratamento com NaHSO₄ são os feldspatos potássicos (JACKSON, et al., 1986), o que justifica, por exemplo, a grande diferença nos teores de K obtidos por estes dois métodos de extração no P6Mi (Quadro 03).

Os efeitos do estágio de evolução dos solos e os horizontes amostrados até a profundidade de 40 cm ficam evidentes nos solos originados de Micaxisto, onde os teores de K total do P6Mi foi muito superior ao P5Mi (Quadro 04). O solo do segundo perfil é mais evoluído e a coleta limitou-se apenas ao horizonte A (Quadro 02). Nos solos desenvolvidos de diabásio ocorreu uma inversão nos teores do

nutriente onde apenas o total extraído com HF foi superior para o solo mais desenvolvido (P9Di), que pode ser atribuído a diferenças locais na rocha de origem, o que levou a maior presença de mica na fração argila desse solo (Quadro 03). Outro fator é o maior teor de argila no solo mais evoluído (Quadro 02).

Os perfis P3Ar, P4Si/Arc, P6Mi, P9Di e P10Co apresentaram uma reserva estimada com HF concentrado notadamente maior (Quadro 04). O perfil P3Ar, apesar de pertencer a uma seqüência sedimentar de arenito, FUCK et al. (1967) relataram que esses sedimentos possuem estratificações com finas camadas de siltitos e argilitos, onde, especialmente os siltitos, apresentam, via de regra, elevada quantidade de minerais micáceos e as proporções de areia-silte-argila são muito variáveis. O material de origem do perfil P4Silt/Arc também possui estratificações com argilitos.

A presença de mica nas frações grosseiras da grande maioria dos perfis está contribuindo para que os teores obtidos através do ataque com HF concentrado sejam mais elevados que com HNO_3 4N (Quadro 04). Nos perfis P1Gr e P5Mi, os teores de K aumentaram consideravelmente, na ordem de 33 e 28 vezes, respectivamente. Outra evidência deste comportamento é a relação entre o K disponível e o extraído com HNO_3 4N, mostrando maior participação de formas trocáveis do elemento na extração com HNO_3 para estas amostras, indicando a maior dificuldade de extração do K, advindo das formas mais estáveis (HF concentrado).

O método mais rápido e simples de estimar a quantidade de K não-trocável do solo é a extração com HNO_3 1N (MARTIN & SPARKS, 1983; RICCI et al., 1989; NACHTIGALL & VAHL, 1991a; NACHTIGALL & VAHL, 1991b; MELO et al., 1995). O HNO_3 é um extrator mais brando, envolvendo reações de troca de cátions e em

maiores concentrações verifica-se a dissolução através da hidrólise das estruturas dos minerais do solo (MARTIN & SPARKS, 1985; SIMARD et al., 1992), sendo que, mesmo nas concentrações mais elevadas desse ácido, ao final das extrações, os minerais micáceos do tamanho areia não são degradados (MELO, 1994).

Em relação à utilização da reserva mineral de potássio dos diferentes perfis, verificou-se uma seqüência crescente no potencial dos solos amostrados, em liberar esse nutriente para as plantas: P1Gr, P2Em, P5Mi, P4Si/Arc., P7Ri, P3Ar, P9Di, P10Co, P8Di, P6Mi (Figura 01). Observa-se que a partir da concentração de HNO_3 1N a reação torna-se mais forte aumentando bastante a declividade das curvas das amostras, com exceção do perfil P4Si/Arc que apresenta, provavelmente, maiores quantidades de mica e feldspato na fração areia.

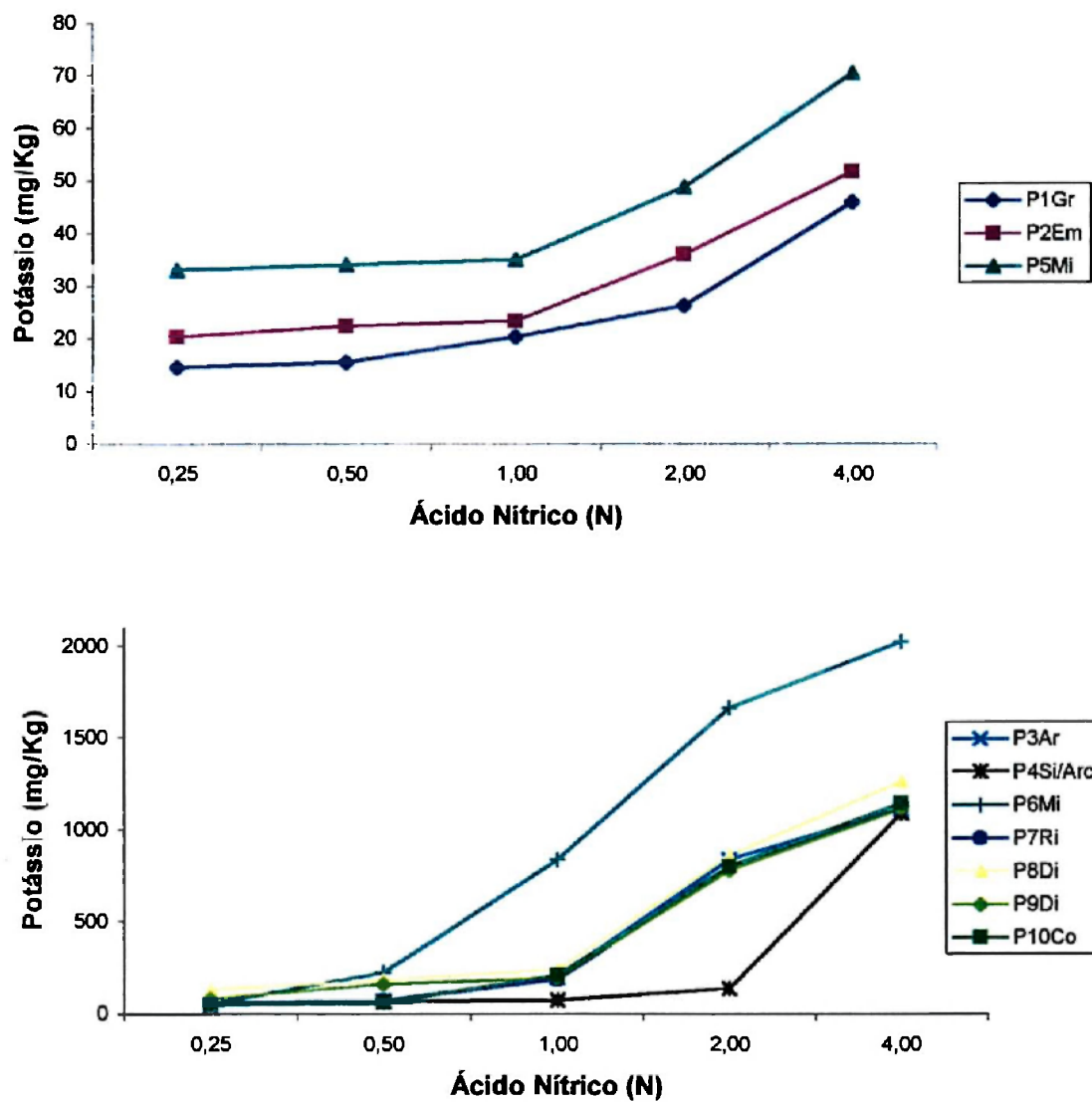


FIGURA 01 – Teores de K no solo extraído com diferentes concentrações de HNO_3 fervente, nos perfis de solo selecionados

4.4. PRODUÇÃO E CONTEÚDO DE K NAS DIFERENTES PARTES DA PLANTA

Na condução do experimento em casa de vegetação, notou-se temperatura mais elevada interferindo no desenvolvimento do trigo, a qual veio influenciar negativamente no seu ciclo, tornando-o mais curto e prejudicando o perfilhamento das plantas. Com isto, o acúmulo de matéria seca pelas plantas foi, em média, de apenas, 30% em relação ao esperado para o trigo (WALDREN & FLOWERDAY, 1979; GAMA, 1977a e 1977b). Da mesma forma, a produção de grãos na maioria dos solos estudados (Figura 02), não chegou a 50% da apresentada pela cultivar BRS49, cujo rendimento médio para a região é de 3.930 kg ha^{-1} . Apesar disto, não foram observados sintomas de deficiência de K nas plantas durante o cultivo e as concentrações de K dos grãos foram similares às encontradas sob condições normais de cultivo e em solos bem supridos desse nutriente (ORPHANOS & KRENTOS, 1980).

Os valores de extração de K do solo, devido a menor produção de matéria seca, alcançaram em média 43% dos encontrados para ótimas condições de crescimento desta cultura (GONZÁLEZ et al., 2000). As produções de matéria seca e as extrações de K pelas plantas dos diferentes solos selecionados variaram de 4.649 a 8.101 kg ha^{-1} e 41 a 127 kg ha^{-1} , respectivamente, observando que os maiores valores foram encontrados nos solos P9Di e P10Co (Figuras 03 e 04). As contribuições dos diferentes órgãos da planta de trigo no acúmulo de matéria seca e no conteúdo do K em relação aos valores totais, obedeceram a seguinte ordem decrescente: parte aérea (exceto grãos) > grãos > raízes, o que correspondeu em

média a 54, 30 e 16% (matéria seca) e 79, 19 e 2% (acúmulo de K) em relação ao total, respectivamente. Esses percentuais estão de acordo com os encontrados em trabalhos de outros autores (WALDREN & FLOWERDAY, 1979; GAMA, 1977a e 1977b; KALCKMANN & PILCZER, 1966; HOCKING, 1994).

O maior valor de acúmulo de K na parte aérea (exceto grãos) foi para o solo P10Co (106,99 kg ha⁻¹) e o menor para o P1Gr (26,32 kg ha⁻¹) (Quadro 05), contudo as extrações sofridas pelos solos P9Di e P7Ri não apresentaram diferença estatisticamente significativa com as do solo P10Co, apesar dos valores serem relativamente menores.

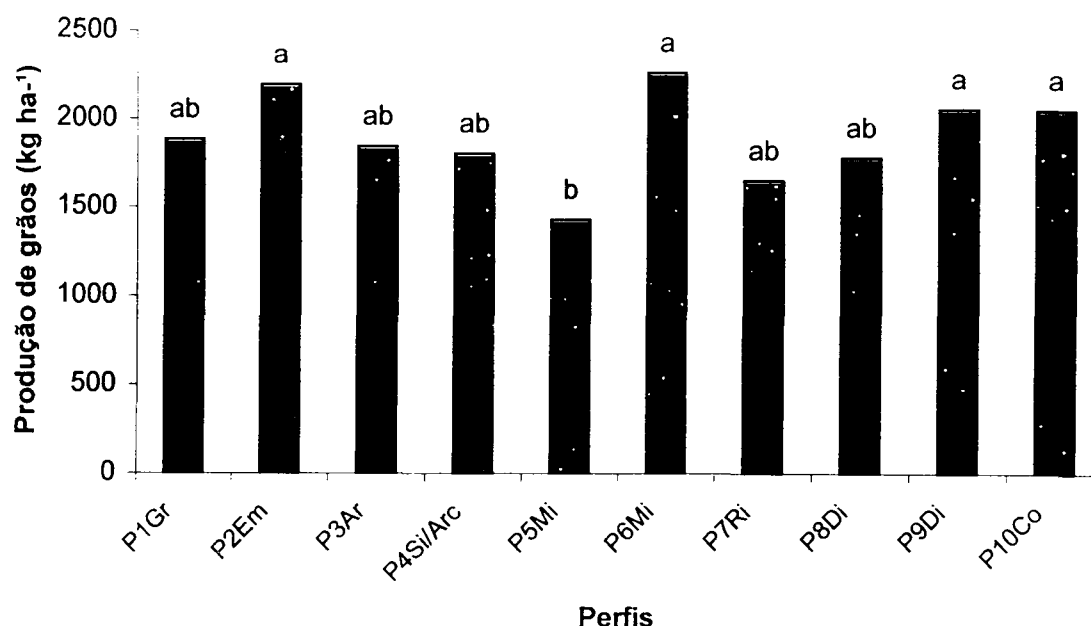


FIGURA 02 – Rendimento médio de grãos do trigo nos perfis de solo selecionados (letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey 0,01)

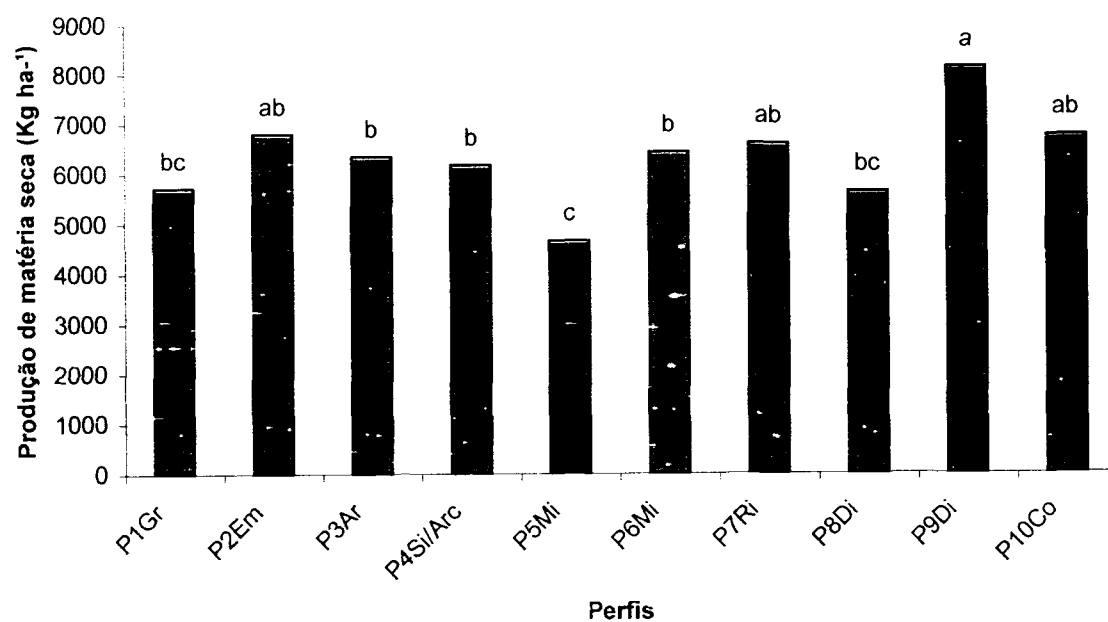


FIGURA 03 – Produção total média de matéria seca do trigo nos perfis de solo selecionados (letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey 0,01)

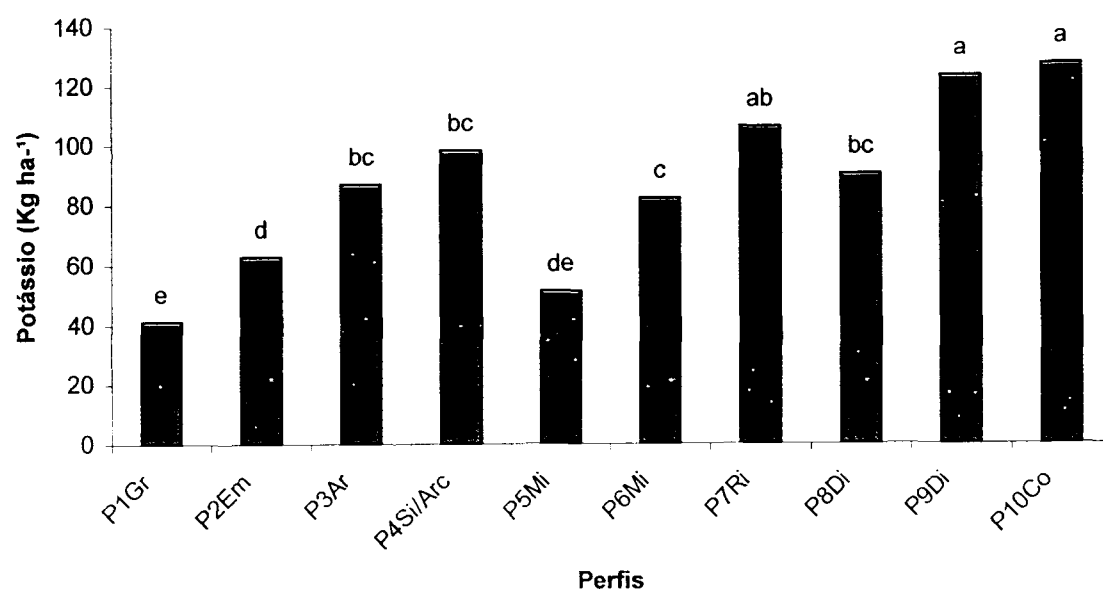


FIGURA 04 – Extração total média de K pelas plantas de trigo nos perfis de solo selecionados (letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey 0,01)

QUADRO 05 – Extração média de K pelas diferentes partes da planta de trigo nos perfis de solo selecionados

Perfis	Parte aérea	Grãos	Raiz	Total extraído
	kg/ha			
P1Gr	26,32	14,31	0,40	41,03
P2Em	45,18	16,74	0,69	62,61
P3Ar	69,38	15,15	2,24	86,77
P4Si/Arc	82,29	13,13	2,73	98,14
P5Mi	38,66	11,54	0,80	50,99
P6Mi	64,81	15,75	1,34	81,89
P7Ri	89,65	13,30	3,06	106,01
P8Di	75,56	12,97	1,50	90,04
P9Di	103,68	16,09	3,30	123,07
P10Co	106,99	17,88	2,08	126,96

4.5. CORRELAÇÕES ENTRE POTÁSSIO NO SOLO COM O CONTEÚDO NA PLANTA E A PRODUÇÃO

Foram feitas análises de correlação entre os teores de K no solo, obtidos por diferentes métodos de extração, e a produção de matéria seca da planta de trigo (Quadro 06) e também com o conteúdo do nutriente na planta (Quadro 07). Os valores dos coeficientes de correlação obtidos para a produção de matéria seca total da planta de trigo foram baixos, mas aumentaram com o aumento das concentrações de HNO_3 , superando os valores obtidos com os teores trocáveis e totais (Quadro 06). É importante ressaltar que a alta temperatura ocorrida durante a condução do experimento, foi fator limitante para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Figuras 2 e 3).

O conteúdo de K no trigo foi melhor correlacionado com os valores obtidos no solo através da extração com ácido nítrico 4 N (Quadro 07). Contudo, não se pode concluir que este seja o melhor método de predição da absorção de K pela cultura do trigo, nas condições experimentais verificadas. Os valores dos coeficientes de correlação entre os teores de K trocável, determinado pelo método do acetato de amônio 1N, e o acúmulo de K na parte aérea (exceto grãos) e na parte aérea total foram altos e significativos (0,86** e 0,83**, respectivamente), considerados da mesma grandeza de valores daqueles obtidos com a maior concentração de HNO_3 .

Desta forma, a extração nítrica foi mais eficiente nos solos que apresentaram maior teor de K disponível, evidenciando a estreita relação entre essa forma de K e a reserva do nutriente no solo ("r" entre K-acetato de amônio e K- HNO_3

4N = 0,78**, Quadro 08).

QUADRO 06 – Coeficientes de correlação (r) entre os teores de potássio no solo e a produção de matéria seca dos componentes da planta (parte aérea-PMSPA, grãos-PMSGR e raiz-PMSRZ) e produção total da planta (PMST) nos perfis de solo selecionados

Extração ¹	PMSPA	PMSGR	PMSRZ	PMST
K-d	0,35	-0,08	0,57*	0,34
K-d'	0,36	-0,03	0,56*	0,36
K-1	0,22	-0,06	0,45°	0,24
K-2	0,25	0,22	0,44°	0,34
K-3	0,30	0,30	0,34	0,36
K-4	0,41	0,24	0,46°	0,44°
K-5	0,39	0,20	0,50°	0,43°
K-6	0,31	0,13	0,21	0,28
K-t	0,25	0,35	0,08	0,27

¹ K-d = K disponível extraído com Mehlich-1; K-d' = K disponível extraído com Acetato de Amônio 1N; K-1, 2, 3, 4, 5 = K extraído com HNO₃ fervente nas concentrações de 0,25, 0,50, 1,00, 2,00 e 4,00 N, respectivamente; K-6 = K extraído com NaHSO₄; e K-t = K extraído pela digestão com HF concentrado;

**, * e ° = significativos nos níveis de 0,01, 0,05 e 0,10 de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

QUADRO 07 – Coeficientes de correlação (r) entre os teores de K no solo e o conteúdo do nutriente nos componentes da planta (parte aérea-CKPA, grãos-CKGR, raiz-CKRZ) e conteúdo total na planta (CKT) nos perfis de solo selecionados

Extração ¹	CKPA	CKGR	CKRZ	CKT
K-d	0,83**	-0,11	0,80**	0,80**
K-d'	0,86**	-0,06	0,81**	0,83**
K-1	0,81**	-0,10	0,77**	0,78**
K-2	0,72**	0,08	0,67*	0,69**
K-3	0,71**	0,24	0,65*	0,70**
K-4	0,80**	0,27	0,75**	0,80**
K-5	0,87**	0,17	0,85**	0,86**
K-6	0,76**	0,28	0,72**	0,76**
K-t	0,57*	0,36	0,50°	0,57*

¹ K-d = K disponível extraído com Mehlich-1; K-d' = K disponível extraído com Acetato de Amônio 1N; K-1, 2, 3, 4, 5 = K extraído com ac. nítrico fervente nas concentrações de 0,25, 0,50, 1,00, 2,00 e 4,00 N, respectivamente; K-6 = K extraído com NaHSO₄; e K-t = K extraído pela digestão com HF concentrado.

**, * e ° = significativos nos níveis de 0,01, 0,05 e 0,10 de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

QUADRO 08 – Coeficientes de correlação (r) entre os teores de K no solo dos perfis selecionados

Extrator ¹	K-d	K-d'	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-t
K-d	1,00								
K-d'	0,99**	1,00							
K-1	0,95**	0,96**	1,00						
K-2	0,78**	0,80**	0,90**	1,00					
K-3	0,59*	0,64*	0,77**	0,92**	1,00				
K-4	0,67*	0,71**	0,82**	0,89**	0,97**	1,00			
K-5	0,74**	0,78**	0,85**	0,88**	0,91**	0,94**	1,00		
K-6	0,46°	0,49°	0,59*	0,62*	0,74**	0,75**	0,81**	1,00	
K-t	0,27	0,31	0,45°	0,65*	0,82**	0,75**	0,76**	0,90**	1,00

¹ K-d = K disponível extraído com Mehlich-1; K-d' = K disponível extraído com Acetato de Amônio 1N; K-1, 2, 3, 4, 5 = K extraído com ac. nítrico fervente nas concentrações de 0,25, 0,50, 1,00, 2,00 e 4,00 N, respectivamente; K-6 = K extraído com NaHSO₄; e K-t = K extraído pela digestão com HF concentrado.

**, * e ° = significativos nos níveis de 0,01, 0,05 e 0,10 de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Se excluirmos as amostras P3Ar e P6Mi esse valor de coeficiente de correlação eleva-se para 0,92**. Por outro lado, os teores com HF também não se correlacionaram bem com o acúmulo de nutriente, por ser um método de extração mais forte, com liberação, além das formas trocáveis e não-trocáveis, de outras formas, normalmente, não utilizadas pelo trigo durante seu ciclo. Mas mesmo havendo alta correlação com o HNO_3 4N, as quantidades de K extraídas por esse método foram bem superiores ao K absorvido pelas plantas, também observado por MELO et al. (1995). NACHTIGALL & VAHL (1991a) encontraram alta correlação entre K não-trocável, extraído com HNO_3 1N fervente, e o absorvido pelas plantas de milho e azevém, em cultivos sucessivos, durante 243 dias, em solos da região sul do Rio Grande do Sul. Contudo, as plantas absorveram em média apenas 26% do K não-trocável, extraído com o ácido nítrico.

Por outro lado, para as concentrações de HNO_3 de 0,25 e 0,5N, as quantidades extraídas foram inferiores a quantidade de K absorvido pelas plantas, durante o crescimento do trigo. A correlação entre o K extraído com HNO_3 0,25N e o extraído com Mehlich-1 e acetato de amônio (K-disponível), apresentaram-se altas e significativas (Quadro 08).

As formas não-trocáveis de potássio são advindas, principalmente, dos minerais primários fontes de K existentes no solo, que, naturalmente, por meio do intemperismo, liberam este nutriente para a solução do solo, tornando-o disponível para o trigo, ao longo de seu ciclo. Segundo JACKSON & SHERMAN (1953) o suprimento de nutrientes, a fertilidade do solo e a produtividade estão intimamente correlacionados com o conteúdo de minerais primários no solo, tais como, ortoclásio, plagioclásio e biotita. No presente estudo, a maior absorção de K pelas plantas (Quadro 05) e a maior ocorrência de mica e feldspato nas frações areia, silte e argila

(Quadro 03) foram observadas no perfil P10Co.

A correlação entre o K extraído pelo NaHSO_4 , antes plantio, mesmo apresentando valor de "r" inferior ao obtido pelas maiores concentrações de HNO_3 , foi significativo (Quadro 07), sugerindo que houve contribuição de formas estruturais de K advindas da mica, na nutrição do trigo. Além do efeito da diminuição dos teores de K na solução, a absorção de cátions pelas plantas e a exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes acarretam uma redução no pH, principalmente do solo rizosférico, acelerando o intemperismo dos minerais (RICE & KAMPRATH, 1968; SONG & HUANG, 1988). No presente estudo, o teor de mica na fração argila do solo rizosférico, estimado pelo K extraído pelo NaHSO_4 , foi ligeiramente superior ao teor do mineral na mesma fração do solo antes do plantio (Quadro 03). Aparentemente o cultivo promoveu o intemperismo da mica, o que favoreceu a extração de K pelo NaHSO_4 na fração argila do solo rizosférico, uma vez que este método extrai, em sistema aberto, preferencialmente, os minerais micáceos com menor grau de cristalinidade e já parcialmente intemperizados (MELO et al., 2002c).

A liberação de potássio das micas é consequência de dois processos (SPARKS, 1987): transformação de micas com K entre camadas para minerais 2:1 expansíveis, pelo intemperismo e troca de K por cátions hidratados; e dissolução das micas, seguida pela formação dos produtos do intemperismo. A importância relativa desses processos depende da estabilidade das micas e da natureza do ambiente do solo.

A liberação de potássio pela transformação das micas para minerais 2:1 expansíveis tem sido verificada através de intemperismo de borda ou de camada (planos preferenciais de intemperismo) (SPARKS, 1987). Intemperismo de camada parece ser mais comum em partículas menores de mica, enquanto o intemperismo

de borda é mais comum em partículas maiores (SPARKS & HUANG, 1985). Segundo os mesmos autores a liberação inicial rápida de potássio dos minerais é, principalmente, devido ao intemperismo de borda, processo controlado por reações de difusão. A taxa de difusão aumenta com a redução no tamanho da partícula. A menor liberação das partículas grosseiras é atribuída à menor superfície específica e à maior distância em que os íons devem se difundir (FANNING et al., 1989).

4.6. BALANÇO NUTRICIONAL DE POTÁSSIO

As diferenças entre as rochas de origem dos solos em estudo promoveram variações entre os teores de K disponíveis nos solos (Figura 05). Apenas os solos referentes aos perfis P4Si/Arc, P7Ri, P8Di e P9Di apresentaram valores de K trocável acima do nível crítico de implantação da cultura do trigo, que vem a ser 80 mg Kg⁻¹ (RECOMENDAÇÕES DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO, 2002).

De acordo com o Balanço Nutricional, considerando os teores de K trocáveis no solo (Mehlich-1), para se terem a mesma produção e acúmulo do nutriente nas plantas de trigo, no cultivo subsequente, apenas no solo do perfil P8Di que a quantidade de K existente na camada superficial (0 – 40 cm) seria suficiente, refletindo a melhor fertilidade deste solo em K na forma trocável (Figura 06). Já para os solos dos demais perfis, para um cultivo subsequente, o K trocável presente na camada superficial seria insuficiente, necessitando a sua absorção de camadas mais inferiores, se existente em quantidade significativa, contribuição de formas não trocáveis, ou ainda, adição desse nutriente via adubação. O K na forma disponível remanescente no solo representa menos que 50% do extraído pelo trigo para o perfil P2Em, entre 50 e 70% para os perfis P1Gr, P4Si/Arc e P6Mi, entre 70 e 90% para os perfis P3Ar, P7Ri, P9Di e P10Co e acima de 90% para o perfil P5Mi (Figura 06).

Devido a menor disponibilidade de K trocável no solo, os perfis P1Gr e P2Em apresentaram maior eficiência na utilização do potássio absorvido pela planta, sendo demonstrado pela razão entre a produção de matéria seca total e a quantidade absorvida deste nutriente pela planta (Figura 07). Já para os solos com

maiores teores trocáveis, essa eficiência foi menor, indicando um consumo de luxo pelas plantas.

As melhores correlações entre o conteúdo de K na planta e as extrações nítricas (Quadros 06), refletem o potencial do solo no suprimento de K, a partir de formas inicialmente não-trocáveis, durante a fase de crescimento das plantas, justificando as diferenças ocorridas nos balanços de K disponível da maioria dos solos dos perfis em estudo, visto que, a quantidade de K trocável extraída do solo foi menor que a quantidade de K absorvida pela planta.

A contribuição do K não-trocável do solo para as plantas (Quadro 09) foi calculada pela diferença entre o K extraído pela planta e o decréscimo no conteúdo de K trocável no solo durante os cultivos, conforme descrito por MIELNICZUK & SELBACH (1978).

De modo geral, a contribuição percentual de K não-trocável em relação ao total absorvido desse nutriente pelas plantas de trigo, variou de 0,5 a 54,0%, que são equivalentes a 0,56 e 68,51 Kg ha⁻¹ de solo (Quadro 09). NACHTIGALL & VAHL (1991a) encontraram valores para essa contribuição variando entre 1 a 84%, que correspondeu a 1,4 e 519,0 Kg ha⁻¹ de solo para plantas de milho e azevém em cultivos sucessivos. CASTILHOS & MEURER (2002) trabalhando com o suprimento de K de solos do Rio Grande do Sul para arroz irrigado por alagamento, verificou que, pelo menos 37,5% do K total acumulado pela planta foi proveniente da forma não-trocável do nutriente.

No presente estudo, um fator determinante que concorreu para reduzir a participação de K não-trocável na nutrição do trigo foi a baixa produção verificada de grãos e parte aérea (Figuras 02 e 03). Alta produtividade está associada a maior absorção de K, o que favorece a passagem de K não-trocável para a solução do

solo e intensifica o intemperismo dos minerais primários fontes do nutriente.

Em alguns solos houve a contribuição negativa de K não-trocável para as plantas, que significa ter ocorrido uma menor absorção do nutriente em relação ao decréscimo de K trocável no solo durante o cultivo. Outros autores (NACHTIGALL & VAHL, 1991a; HOAGLAND & MARTIN, 1933) constataram comportamento semelhante, concluindo que os resultados não poderiam ser explicados com base no K contido nas raízes não incluídas na análise, porque a proporção de potássio da planta contida nas raízes é pequena. Contudo, no presente estudo, o sistema radicular foi considerado no balanço de K. A determinação de K nas raízes de plantas vem a ser problemática, visto que é necessário lavá-las com água destilada para remover as partículas de solo nelas aderidas. Nesse processo pode haver remoção de parte do K nelas acumulada, uma vez que esse nutriente não forma compostos orgânicos dentro da planta.

Observa-se que, para o experimento esse fato ocorreu nos solos com maiores teores disponíveis do nutriente e com os menores coeficientes de utilização de K absorvido pela planta. Portanto, considerando que neste experimento analisou-se a planta inteira e não ocorreram perdas por lixiviação, pois foi realizado em casa-de-vegetação e os vasos continham um prato de coleta de drenagem, pode ter havido perda pelas folhas mortas, eventualmente não armazenadas durante o ciclo do trigo. Outra possibilidade é a fixação de parte do K trocável por minerais com alta densidade de carga negativa permanente, notadamente vermiculita e interestratificados mica-vermiculita, inicialmente não detectadas na fração argila destes solos (Quadro 03).

De maneira geral, para todos os solos envolvidos no experimento, seria necessário, para o próximo cultivo, o acompanhamento das variações nos teores

das formas disponíveis e de reserva do nutriente, para saber como proceder na adubação de forma a promover um adequado e sustentável crescimento da cultura.

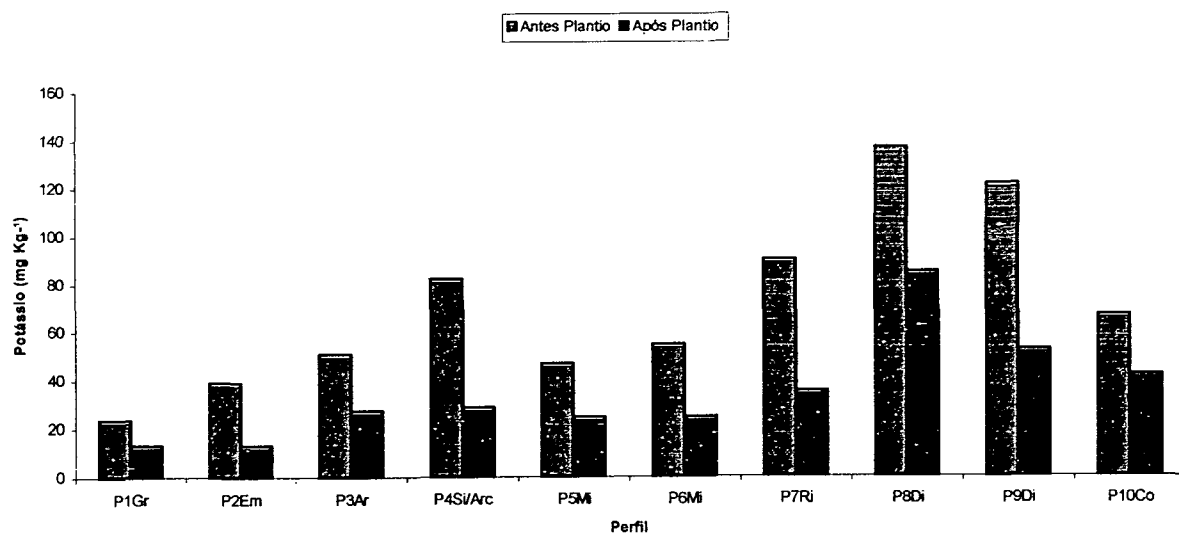


FIGURA 05 – Teores Médios de K disponível, extraído com Mehlich-1, antes e após o plantio do trigo nos perfis de solo selecionados

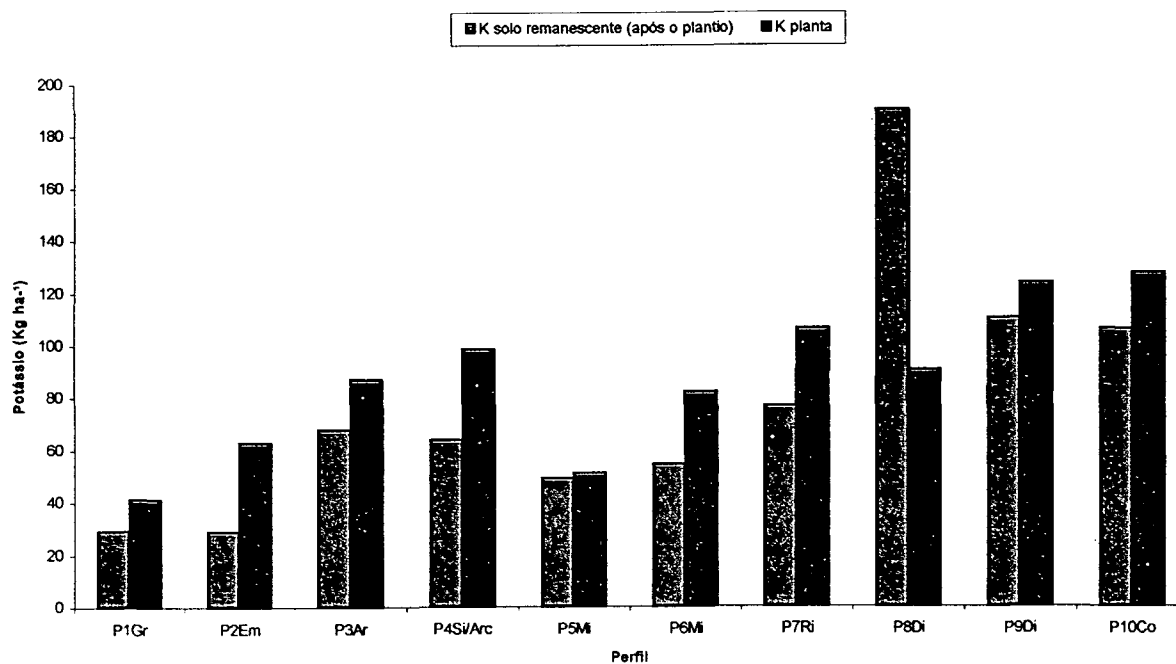


FIGURA 06 – Conteúdo médio de K na planta e disponível no solo (Mehlich-1) após plantio nos perfis de solo selecionados

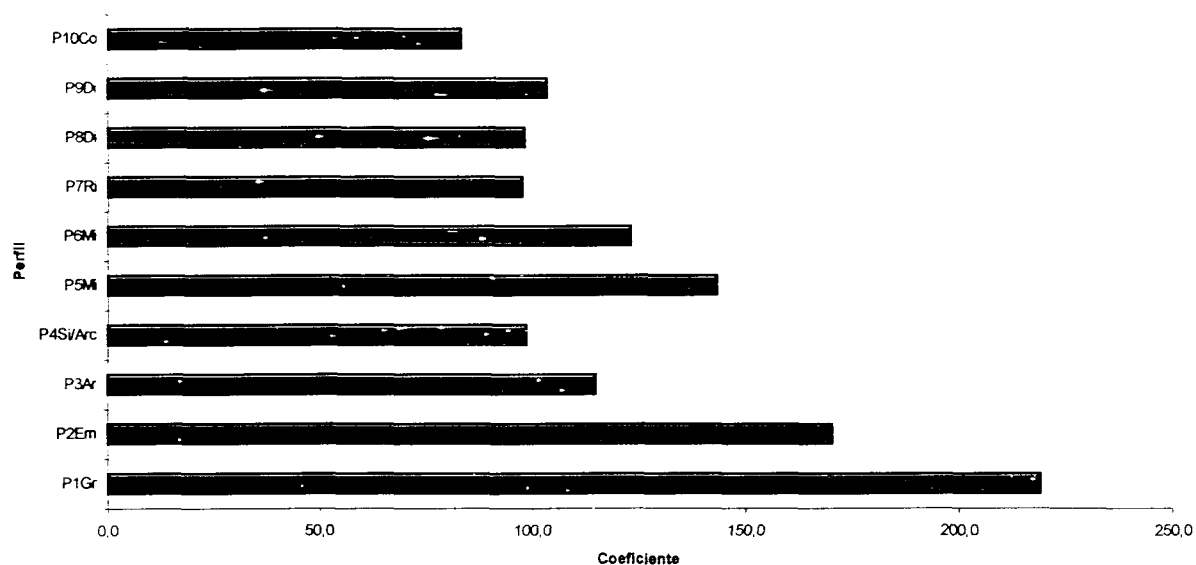


FIGURA 07 – Coeficiente de utilização do potássio absorvido pela planta, na produção de matéria seca total, nos perfis de solo selecionados

QUADRO 09 – Balanço Nutricional de K ⁽¹⁾ nos perfis de solo selecionados

Amostra	EMKP	EMKS	CKnt	
	Kg ha ⁻¹			%
P1Gr	41,03	23,19	17,84	43,5
P2Em	62,61	55,89	6,72	10,7
P3Ar	86,77	56,96	29,81	34,4
P4Si/Arc	98,14	115,83	-17,68	-
P5Mi	50,99	43,45	7,54	14,8
P6Mi	81,89	63,91	17,98	22,0
P7Ri	106,01	105,45	0,56	0,5
P8Di	90,04	115,15	-25,11	-
P9Di	123,07	138,64	-15,57	-
P10Co	126,96	58,45	68,51	54,0

⁽¹⁾ EMKP = conteúdo total médio de K nas plantas, calculado pelo somatório dos produtos entre os teores de K e matéria seca das diferentes partes da planta (parte aérea, grãos e raízes); EMKS = extração média de K trocável do solo, obtida através da diferença entre os conteúdos de K disponível (Mehlich-1) antes e após o cultivo; CKnt = contribuição do K não-trocável na nutrição mineral da planta: CKnt(Kg ha⁻¹)=EMKP-EMKS, CKnt (%)= CKnt(Kg ha⁻¹)/EMKPx100; " - " não houve contribuição de K não-trocável na nutrição do trigo.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado em solos localizados no município de Castro-Pr, na região do ABC, para a cultura do trigo, visando estudar a contribuição de formas não-trocáveis de K presentes nos minerais do solo, na produção e nutrição mineral da cultura do trigo e avaliar a eficiência de diferentes métodos de extração de K no diagnóstico da disponibilidade do nutriente para as plantas.

O principal critério usado na seleção dos dez perfis foi a geologia do local, onde foram contemplados os seguintes materiais de origem: granito (Gr), embrechito (Em), arenito (Ar), siltito/arcósio (Si/Arc), micaxisto (Mi), riolito (Ri), diabásio (Di) e conglomerado (Co). Nestas unidades selecionadas foram abertas trincheiras até 40 cm (camada arável), de onde se coletaram amostras de solo para a execução do experimento em casa-de-vegetação e para a realização das análises químicas, físicas e mineralógicas (fração areia, silte e argila). Com propósito de avaliar a reserva mineral em relação ao grau de intemperismo, no diabásio e micaxisto selecionaram-se diferentes classes de solo (NITOSSOLO, CAMBISSOLO e LATOSSOLO) perfazendo um total de 10 solos. As unidades experimentais foram constituídas por vasos com 4 dm³ e 10 plantas aptas, distribuídas em blocos ao acaso, com três repetições. Os solos foram calcariados e adubados com macro e micronutrientes, com exceção de K, e os vasos foram regados periodicamente à capacidade de campo.

As plantas de trigo foram colhidas ao término do ciclo produtivo e, após secas e pesadas, determinou-se a produção em matéria seca da parte aérea, grãos e raízes. Esses materiais vegetais foram moídos e amostrados para a determinação do teor de K.

Para avaliar a disponibilidade de K, submeteram-se amostras de TFSA, antes e após o plantio aos tratamentos com Mehlich-1 e Acetato de Amônio 1M (K trocável). Avaliou-se também a reserva mineral dos solos por meio da digestão das amostras com HF concentrado (K total), extração com NaHSO₄ (K estrutural presente na mica) e tratamentos com concentrações crescentes de KNO₃ fervente (K não-trocável).

Os dados foram submetidos a análises de variância e correlação de Pearson, sendo que, nesta última, procurou-se relações significativas entre os teores de K extraídos do solo por diferentes métodos e a produção e conteúdo de K na planta.

As amostras da fração areia dos perfis P3Ar e P6Mi mostraram-se ricas em minerais primários, onde a presença de mica e feldspato, respectivamente, representam reserva potencial de K para as plantas. Os solos em estudo são, essencialmente, caulíníticos, com presença de mica nas frações silte e argila nos perfis P3Ar, P4Si/Arc, P6Mi, P7Ri, P9Di e P10Co.

Em relação à utilização da reserva mineral de K dos diferentes perfis, verificou-se a seguinte seqüência crescente no potencial de liberação do nutriente para as plantas: P1Gr, P2Em, P5Mi, P4Si/Arc., P7Ri, P3Ar, P9Di, P10Co, P8Di, P6Mi. A contribuição do K não-trocável do solo na nutrição mineral das plantas foi mais expressiva nos perfis P1Gr, P3Ar, P6Mi e P10Co, chegando a valores de 54% do total acumulado pelas plantas.

As melhores correlações, entre os teores de K extraídos do solo e conteúdo do nutriente nas plantas de trigo, foram obtidas com a extração com ácido nítrico, cujos valores de "r" aumentaram com a concentração do ácido.

Verificou-se a tendência dos perfis mais produtivos apresentarem solos

mais jovens, contudo, seria necessário um acompanhamento sistemático das variações de K no solo e a realização de novos experimentos em condições mais adequadas para o desenvolvimento do trigo para melhor compreender as relações existentes entre o nutriente e a produção desta cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M. de. Novo campo de riolitos e tufos no sul do Brasil. **Min. Metal.**, Rio de Janeiro, n. 14, p. 101–103, 1952.
- BAKER, J. M.; TUCKER, B. B. Critical N, P, and K levels in winter wheat. **Comm. Soil Sci. Plant An.**, Madison, n. 4, p. 347–358, 1973.
- BALDANZI, G. **O solo e adubação do trigo no Paraná**. Pelotas: IPEAS, 1966. 105p.
- BABER, S. A.; OLSON, E. A. Fertilizer use on corn. In: NELSON, L. B. et al. (Eds). **Changing patterns in fertilizer use**. Madison: Soil Science Society of America, 1968. p. 168–170.
- BARNHISEL, R. I.; BERTSCH, P. M. Chlorites and hydroxy – interlayered vermiculite and smectite. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Eds). **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 729–788.
- BATAGLIA, O. C. et al. Resposta a calagem de três cultivares de trigo com tolerância diferencial ao alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 9, p. 139–147, 1985.
- BESSOAIN, E. **Mineralogia de arcillas de suelos**. San José: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1985. 1205 p.
- BRAGA, J. M. **Avaliação da fertilidade do solo: análise química**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1980. 64 p.
- CASTILHOS, R. M. V.; MEURER, E. J. Suprimento de potássio de solos do Rio Grande do Sul para arroz irrigado por alagamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, n. 4, p. 977–982, 2002.
- CHRISTENSON, D. R.; DOLL, E. C. Release of magnesium from soil clay and silt fraction during cropping. **Soil Science**, Baltimore, n. 116, p. 56–63, 1973.
- CLARKE, F. W. **The data of geochemistry**. 5. ed. Bull: U.S. Geological Survey, 1924. 267 p.
- COMERFORD, N. B.; HARRIS, W. G.; LUCAS, D. Release of nonexchangeable potassium from a highly weathered, forested quartzpsamment. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, n. 54, p. 1421–1426, 1990.
- COUTINHO, J. M. V. Geologia e petrologia da região de Pirai do Sul, Paraná. **B. Soc. Bras. Geol.**, São Paulo, n. 4, p. 49–65, 1955.
- CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Toposequence of Oxisols from the Central Plateau of Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, n. 48, p. 341–346, 1984.

DA COSTA, J. B. **Caracterização e constituição do solo**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1979. 527 p.

DIXON, J. B. Kaolin and serpentine group minerals. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 467 -525.

EAKIN, J. H. Food and fertilizer. In: The fertilizer handbook, **The Fertilizer Inst.**, Washington, 1972. p. 1 – 21.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Trigo: resumos informativos**. Brasília: Embrapa – DDT, 1984. v. 1. p. 257-293.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Análises de solo**. 3. ed. Curitiba, 1995. 65 p. (Informação Técnica)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **O solo e sua ambiência no foco de agricultura de precisão**. [Castro]: Embrapa Solos, Fundação ABC, 2001. 86 p. (Relatório Interno)

FANNING, D. S.; KERAMIDAS, V. Z.; EL-DESORKY, M. A. Micas. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 551–634.

FONTOURA, J. U. G.; FABRÍCIO, A. C.; HAAG, H. P. **Matéria seca, absorção e exportação de macro e micronutrientes pelo trigo, sob regime de sequeiro e irrigado em latossolo roxo**. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 83 p.

FUCK, R. A.; TREIN, E.; MARINI, O. J. Geologia e petrografia dos migmatitos do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 23/25, p. 5–41, 1967.

GALRÃO, E. Z.; SOUZA, D. M. G. Resposta do trigo à aplicação de cobre em um solo orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 9, p. 149–153, 1985.

GAMA, M. V. Efeito do azoto e do potássio na composição mineral do trigo “impeto” e do tomate “roma”. **Agronomia Lusitana**, Lisboa, n. 38, p. 111–121, 1977a.

GAMA, M. V. Um caso provável de deficiência de enxofre em trigo cultivado em vasos. **Agronomia Lusitana**, Lisboa, n. 38, p. 123–126, 1977b.

GARGANTINI, H.; BLANCO, H. G.; HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E. Absorção de nutrientes pelo trigo. **Bracantia**, Campinas, n. 32, p. 285–307, 1973.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: Part 1 - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madison: Wisconsin U.S.A. 1986. p. 383–411.

GRAHAM, R. C. et al. Weathering of iron-bearing minerals in soils and saprolite on the North Carolina blue-ridge front: I - sand-size primary minerals. **Clays Minerals**, n. 37, p. 19-28, 1989.

GONZÁLEZ, D. R. E.; ALCALDE, S. B.; ORTIZ, J. C.; CASTILLO, A. C. Dinámica de la acumulación de potasio por trigo cultivado en diferentes ambientes. **Agrociencia**, Guadalajara, n. 34, p. 1-11, 2000.

HARRIS, W. G.; HOLLIEN, K. A.; YUAN, T. L.; BATES, S. R.; ACRRE, W. A. Nonexchangeable potassium associated with hidroxy – interlayered vermiculite from Coastal Plain soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 52, p. 1489-1492, 1988.

HAVLIN, J. L.; WESTFALL, D. G.; OLSEN S. R. Mathematical models for potassium release Kinetics in calcareous soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 49, p. 371-376, 1985.

HOAGLAND, D. R.; MARTIN, J. C. Absorption of potassium by plants in relation to replaceable, non-replaceable, and soil solution potassium. **Soil Science**, Baltimore, n. 36, p. 1-33, 1933.

HOCKING, P. J. Dry-matter production, mineral nutrient concentrations, and nutrient distribution and redistribution in irrigated spring wheat. **Plant Nut.**, n. 17, p. 1289-1308, 1994.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Cartas climáticas do Paraná: versão 1.0. Londrina, 2000. 1 CD-ROM.

JACKSON, M. L.; SHERMAN, G. D. Chemical weathering of minerals in soils. **Adv. Agron.**, n. 5, p. 219-318, 1953.

JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis - advanced course**. Madson: Prentice-Hall, 1979. 895 p.

JACKSON, M. L.; LIM, C. H.; ZELAZNY, L. W. Oxides, hydroxides, and aluminosilicates. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**: Parte 1: physical and mineralogical methods. Madson: American Society of Agronomy, 1986. p. 101-150.

JUO, A. S. R. Mineralogical characteristics of Alfisols and Ultisols. In: THENG, B. K. G. (Ed.). **Soils with variable charge**. Lower Hutt: New Zealand Society of Soil Science, 1980. p. 69-86.

KALKMANN, R. E.; PILCZER, M. M. O solo e adubação do trigo em Santa Catarina. In: SOLO e adubação do trigo. Pelotas: Instituto de Pesquisas e Experimentação Agronômica do Sul, 1966. p. 35-40.

KARLEN, D. L.; WHITNEY, D. A. Dry matter accumulation, mineral concentrations, and nutrient distribution in winter wheat. **Agronomy Journal**, Madson, n. 72, p. 281-288, 1980.

KEMMLER, G. **Fertilizing for high yield wheat**. Berne, Switzerland IPI-Bulletin. Potash Inst. 1974. 66 p.

KIRKMAN, J. H.; BASKER, A.; SURAPANENI, A.; MACGREGOR, A. N. Potassium in the soils of New Zeland – a review. **N. Z. J. Agric. Res.**, n. 37, p. 207–227, 1994.

LOUÉ, A. Análise do potássio em plantas e sua interpretação. In: YAMADA, T. et al. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto Potassa & Fosfato, 1982. p. 249–289.

MACLEAN, A. J.; BRYDON, J. E. Release and fixation of potassium in different size fractions of some canadian soils as related to their mineralogy. **Can. J. Soil Sci.**, n. 43, p. 123-134, 1963.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. Potassium status of tropical and subtropical region soils. In: MUNSON, R. D. **Potassium in Agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. p. 163-200.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTIN, H. W.; SPARKS, D. L. Kinetics of nonexchangeable potassium release from two Costal Plain soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, n. 47, p. 885-887, 1983.

MARTIN, H. W.; SPARKS, D. L. On the behavior of nonexchangeable potassium in soils. **Comm. Soil Sci. Plant. Anal.**, n. 16, p. 133-162, 1985.

MELLO, F. de A. F. et al. **Fertilidade do solo**. Piracicaba: Nobel, 1983. 400 p.

MELO, V. F. **Relação entre a Reserva Mineral de Solos e a Produção e Nutrientes em Povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith, no Rio Grande do Sul**. Viçosa, 1994. 145 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa.

MELO, V. F.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; NOVAIS, R. F.; FONTES, M. P. F. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 19, p. 165-171, 1995.

MELO, V. F. **Potássio e magnésio em minerais de solos e relação entre propriedades da caulinita com formas não trocáveis destes nutrientes**. Viçosa, 1998. 205 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa.

MELO, V. F.; NOVAIS, R. F.; FONTES, M. P. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. Potássio e magnésio em minerais das frações areia e silte de diferentes solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 24, p. 269–284, 2000.

MELO, V. F.; FONTES, M. P. F.; NOVAIS, R. F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C. E. G. R. Características dos óxidos de ferro e de alumínio de diferentes classes de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 25, p. 19–32, 2001a.

MELO, V. F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; NOVAIS, R. F.; FONTES, M. P. F. Chemical and mineralogical properties of Kaolinite-rich Brazilian soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, n. 65, p. 1324–1333, 2001b.

MELO, V. F.; NOVAIS, R. F.; SINGH, B.; FONTES, M. P. F. Distribuição de K, Mg, e outros metais nos minerais de sedimentos do Grupo Barreiras no Município de Aracruz, Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 26, p. 43–51, 2002a.

MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; NOVAIS, R. F.; SINGH, B.; FONTES, M. P. F. Potassium and magnesium in clay minerals of some brazilian soil as indicated by a sequential extraction procedure. **Comm. Soil Sci. Plant An.**, n. 33, p. 2203-2225, 2002b.

MELO, V. F.; CORRÊA, G. F.; MASCHIO, P.A.; RIBEIRO, A. N.; LIMA, V. C. Reserva mineral em solos do Triângulo Mineiro: II - importância das espécies minerais no K total da fração argila. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 26, 2002c. (no prelo)

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Suíça: International Potash Institute, 1978. 370 p.

MENGEL, K.; SECER, M.; KOCH, K. Potassium effect on protein formation and amino acid turnover in developing wheat grain. **Agronomy Journal**, n. 73, p. 74–78, 1981.

MIELNICZUK, J.; SELBACH, P. A. Capacidade de suprimento de potássio de seis solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n. 2, p. 115–120, 1978.

MUZILLI, O.; HOEPNER M. A. Adubação do trigo no Estado do Paraná. In: **IAPAR Cultura do trigo no Estado do Paraná**. Londrina, 1984. p. 35–56. (Circular Técnica, 22).

NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L.C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região Sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 15, p. 37-42, 1991a.

NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L.C. Dinâmica de liberação de potássio dos solos da região Sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 15, p. 43-47, 1991b.

OCEPAR. Recomendações técnicas para a cultura do trigo no Estado do Paraná. **Boletim técnico OCEPAR**, Cascavel, n. 37, 1995. 115p.

ORPHANOS, P. I.; KRENTOS, U. D. Concentration of N, P and K in leaves, straw and grain of wheat and barley as influenced by N and P fertilizers under semi-arid conditions. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, n. 94, p. 551–556, 1980.

PATELLA, J. F. Influência de quinze anos de adubação NPK sobre o rendimento do trigo e algumas propriedades do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 4, p. 31-35, 1980.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química de solo e controle de qualidade**. Londrina, IAPAR, 1992. (Circular Técnica, n. 76). 39 p.

PINTO, O. C. B.; YAHNER, J. E.; ROTH, C. B. Natureza e formação de caolinita em forma de pseudomorfa, em solos de Viçosa, Minas Gerais. **Experientiae**, n. 13, p. 383-421, 1972.

PRASAD, R.; POWER, J. F. **Soil fertility management for sustainable agriculture**. New York: Lewis Publishers, 1997. 356 p.

PRATT, P. F. Potassium. In: BLACK, C. A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. Pt. 2, p. 1022-1030.

RAIJ, B. VAN. **Avaliação da fertilidade do solo**. 3. ed. Piracicaba: Instituto Potassa & Fosfato, 1991. 142 p.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO J. A.; FURLANI A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação, 1996. 285 p. (Boletim técnico, 100)

REBERTUS, R. A.; WEED, S. B.; BUOL, S. W. Transformations of biotite to kaolinite during saprolite-soil weathering. **Soil Sci Soc. Am J.**, n. 50, p. 810-819, 1986.

RECOMENDAÇÕES DA COMISSÃO SUL-BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO. **Algumas considerações sobre a cultura de trigo**. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/rcsbpt00/index.htm>> Acesso em: 25 set. 2002.

REJADO, P. Q. Potassium requirements of cereals. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE. **Potassium research review and trends**. 1978. p. 239 – 257.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 301 p.

RICCI, M. S. C.; DEFÉLIPO, B. V.; COSTA, L. M.; REZENDE, S. B. As frações granulométricas do solo como reserva de potássio para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 13, p. 181-186, 1989.

RICE, H. B.; KAMPRATH, E. J. Availability of exchangeable and nonexchangeable Mg in sandy Coastal Plain soil. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, n. 32, p. 386-388, 1968.

RICHARDS, J. E.; BATES, T. E. Studies on the potassium-supplying capacities of Southern Ontario soils, II – nitric acid extraction nonexchangeable K and its availability to crops. **Can. J. Soil Sci.**, n. 63, p. 199-208, 1988.

RICHARDS, J. E.; BATES, T. E.; SHEPPARD, S. C. Studies on the potassium-supplying capacities of Southern Ontario soils, I - field and greenhouse experiments. **Can. J. Soil Sci.**, n. 68, p. 183-197, 1988.

SCHLEHUBER, A. M.; TUKER, B. B. Culture of wheat. In: QUISEN-BERRY, K. S. (Ed.). **Wheat and wheat improvement**. Madison: Amer. Soc. of Agron., 1967. p. 117-179.

SANZ – SCOVINO, J. I.; ROWEL, D. L. The use of feldspars as potassium fertilizers in the savannah of Colombia. **Fert. Res.**, v. 17, p. 71-83, 1988.

SANZ – SCOVINO, J. I.; WEIL, S.; JONES, A. A. The mineralogy and potassium reserves of a soil from Carimagua, Colombia. **Geoderma**, v. 52, p. 291-302, 1992.

SIMARD, R. R.; KIMPE, C. R.; ZIZKA, J. Release of potassium and magnesium from soil fractions and its kinetics. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, n. 56, p. 1421-1428, 1992.

SINGH, B.; GILKES, R. J. Properties of soil kaolinites from south-western Australia. **J. Soil Sci.**, n. 43, p. 645-667, 1992.

SMITH, J. A.; MATTHEWS, B. C. Release of potassium by 18 Ontario soils during continuous cropping in the greenhouse. **Can. J. Soil Sci.**, n. 37, p. 1-10, 1957.

SONG, S. K.; HUANG, P. M. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, n. 52, p. 383-390, 1988.

SPARKS, D. L.; HUANG, P.M. Physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R. D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. p. 201-276.

SPARKS, D. L. **Potassium dynamics in soils**. New York: Springer-Verlag, 1987. v. 6. 63 p.

TEDESCO, M. J.; VOLWEISS, S. J.; BOHRNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. (Boletim Técnico, 5)

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. 4. ed. New York: Macmillan, 1985. 754 p.

TRIBUTH, H.; BOGULAWSKI, E. V.; LIERES, A. V.; STEFFENS, D.; MENGEL, K. Effect of potassium removal by crop on transformation of illitic clay minerals. **Soil Sci.**, n. 143, p. 404-409, 1987.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. Potassium. In: _____. **Soils and soil fertility**. 5. ed. New York: Oxford, 1993. p. 235-252.

WALDREN, R. P.; FLOWERDAY, A. D. Growth stages and distribution of dry matter, N, P and K in winter wheat. **Agronomy Journal**, Madison, n. 71, p. 391-397, 1979.

WALKER, J. M.; BARBER, S. A. Uptake of rubidium and potassium from soil by corn roots. **Plant and Soil**, n. 17, p. 243–259, 1962.

WENTWORTH, S. A.; ROSSI, N. Release of potassium from layer silicates by plant growth and by NaTPB extractions. **Soil Sci.**, n. 113, p. 410–416, 1972.

WHITTIG, L. D.; ALLARDICE, W. R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A., (Ed.). **Methods of soil analysis**: Parte 1 - physical and mineralogical methods analysis. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 331-362.

WOODWORTH, J. B. Geological expedition to Brazil and Chile. **B. Mus. Com. Zool.**, n. 56, p. 1–14, 1916.

APÊNDICE

APÊNDICE – Análises Estatísticas dos dados.

QUADRO 1A - Análise de variância dos teores de potássio no solo após plantio

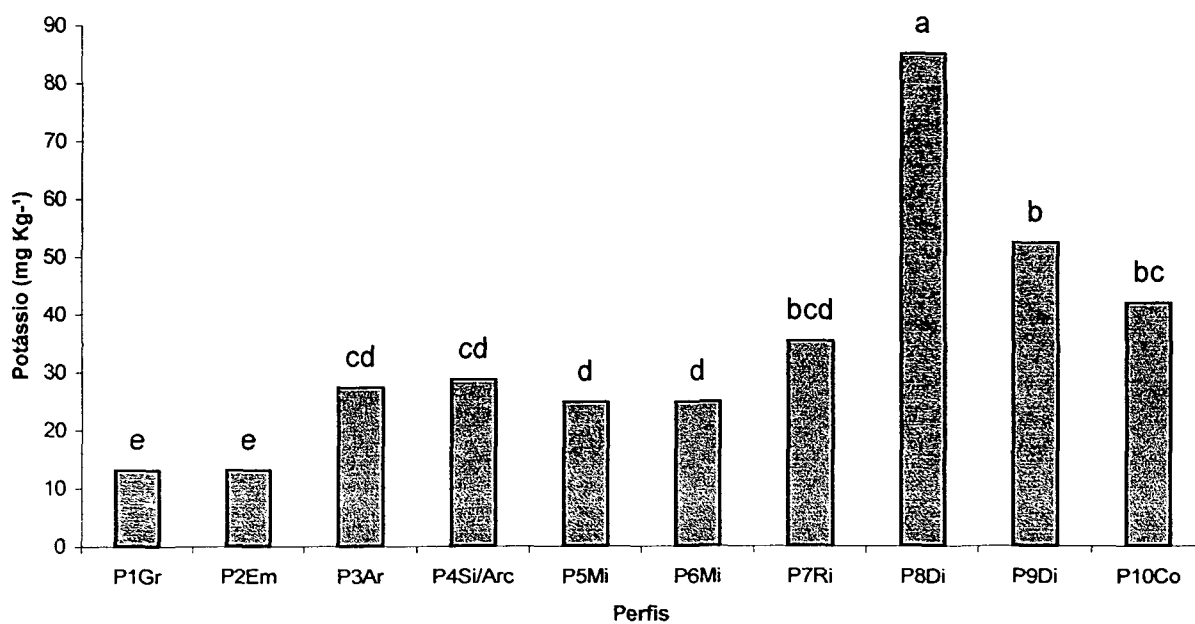
Fontes de Variação Signif.	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F
BLOCO 0.00122	2	0.5169114E-01	0.2584557E-01	9.969
TRAT 0.00000	9	1.687255	0.1874728	72.313
Resíduo	18	0.4666530E-01	0.2592517E-02	

Coefficiente de Variação = 3.467

Testes de COCHRAN e BARTLETT

Variáveis (P=0.01)	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)	Valor
TEOR K	Cochran	0.2102	0.445	0.536
TEOR K	Bartlett	18.8453	16.919	21.666

GRÁFICO 1A - Comparação entre médias (Tukey 0.01) de teor de potássio no solo após plantio (Melhich-1)



QUADRO 2A - Análise de variância do potássio extraído do solo (Mehlich-1)

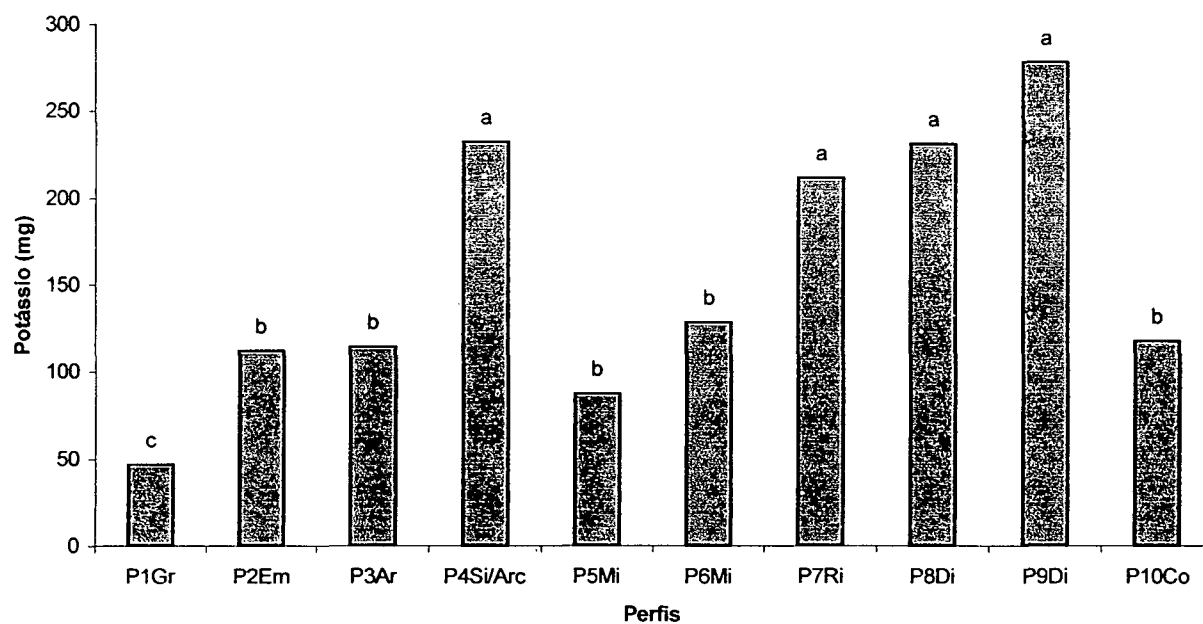
Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
BLOCO	2	0.4663137E-01	0.2331568E-01	8.326	0.00275
TRAT	9	1.590996	0.1767774	63.129	0.00000
Resíduo	18	0.5040459E-01	0.2800255E-02		

Coefficiente de Variação = 2.475

T e s t e s d e C O C H R A N e B A R T L E T T

Variáveis	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)	Valor (P=0.01)
EXT.	Cochran	0.3153	0.445	0.536
EXT.	Bartlett	12.5982	16.919	21.666

GRÁFICO 2A - Comparação entre médias (Tukey 0.01) de potássio extraído do solo por vaso (balanço com Mehlich-1)



QUADRO 3A - Análise de variância da produção de matéria seca da parte aérea das plantas (MSPA)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
BLOCO	2	0.6469229E-02	0.3234614E-02	4.805	0.02128
TRAT	9	0.1094611	0.1216235E-01	18.066	0.00000
Resíduo	18	0.1211803E-01	0.6732237E-03		

Coefficiente de Variação = 2.535

T e s t e s d e C O C H R A N e B A R T L E T T

Variáveis	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)
Valor(P=0.01)			
MSPA	Cochran	0.2010	0.445
0.536			
MSPA	Bartlett	5.6041	16.919
21.666			

QUADRO 4A - Análise de variância da produção de matéria seca dos grãos das plantas (MSGR)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
BLOCO	2	0.4006564E-02	0.2003282E-02	0.149	*****
TRAT	9	0.7458468	0.8287187E-01	6.152	0.00055
Resíduo	18	0.2424673	0.1347041E-01		

Coefficiente de Variação = 4.773

T e s t e s d e C O C H R A N e B A R T L E T T

Variáveis	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)	Valor
(P=0.01)				
MSGR	Cochran	0.4721	0.445	0.536
MSGR	Bartlett	15.9943	16.919	21.666

QUADRO 5A - Análise de variância da produção de matéria seca das raízes das plantas (MSRZ)

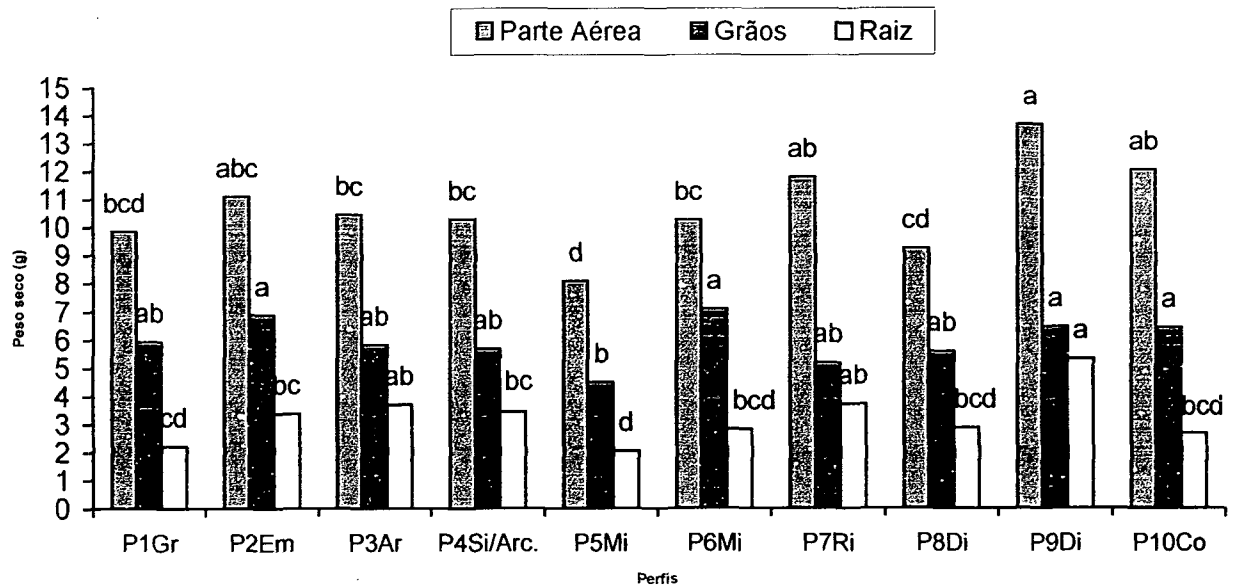
Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
BLOCO	2	0.2878915	0.1439458	10.935	0.00078
TRAT	9	1.784414	0.1982682	15.061	0.00000
Resíduo	18	0.2369530	0.1316406E-01		

Coefficiente de Variação = 6.482

T e s t e s d e C O C H R A N e B A R T L E T T

Variáveis	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)	Valor
(P=0.01)				
MSRZ	Cochran	0.3353	0.445	0.536
MSRZ	Bartlett	4.1831	16.919	21.666

GRÁFICO 3A - Comparação entre médias (Tukey 0,01) dos pesos secos das diferentes partes da planta por vaso



QUADRO 6A - Análise de variância da produção de matéria seca da planta inteira (MSPL)

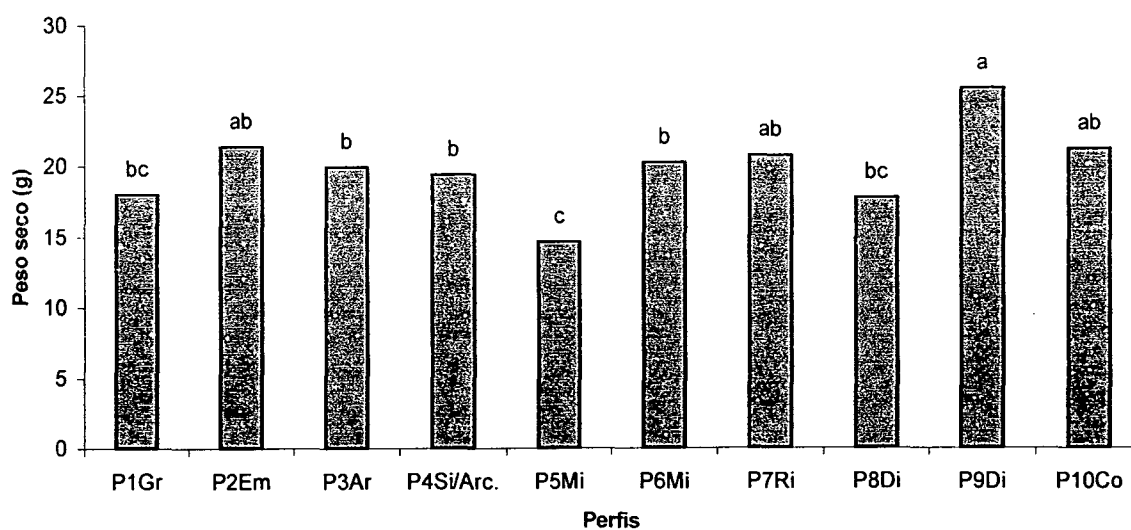
Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
BLOCO	2	0.8820400E-02	0.4410200E-02	5.948	0.01040
TRAT	9	0.1093148	0.1214609E-01	16.382	0.00000
Resíduo	18	0.1334597E-01	0.7414429E-03		

Coeficiente de Variação = 2.107

T e s t e s d e C O C H R A N e B A R T L E T T

Variáveis	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)	Valor (P=0.01)
MSPL	Cochran	0.3722	0.445	0.536
MSPL	Bartlett	10.3949	16.919	21.666

GRAFICO 4A - Comparação entre médias (Tukey 0.01) da produção de matéria seca das plantas inteiras



QUADRO 7A - Análise de variância do teor de potássio na parte aérea da planta (TPA)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
BLOCO	2	0.2805860E-01	0.1402930E-01	5.987	0.01015
TRAT	9	0.7456893	0.8285437E-01	35.360	0.00000
Resíduo	18	0.4217749E-01	0.2343194E-02		

Coeficiente de Variação = 4.454

T e s t e s d e C O C H R A N e B A R T L E T T

Variáveis	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)	Valor
(P=0.01)				
TPA	Cochran	0.3373	0.445	0.536
TPA	Bartlett	5.7633	16.919	21.666

QUADRO 8A - Análise de variância do teor de potássio nos grãos da planta (TGR)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
BLOCO	2	0.5023306E-02	0.2511653E-02	0.312	*****
TRAT	9	0.1604441	0.1782713E-01	2.216	0.07211
Resíduo	18	0.1448336	0.8046314E-02		

Coeficiente de Variação = 4.029

T e s t e s d e C O C H R A N e B A R T L E T T

Variáveis	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)	Valor
(P=0.01)				
TGR	Cochran	0.4965	0.445	0.536
TGR	Bartlett	20.3654	16.919	21.666

QUADRO 9A - Análise de variância do teor de potássio nas raízes da planta (TRZ)

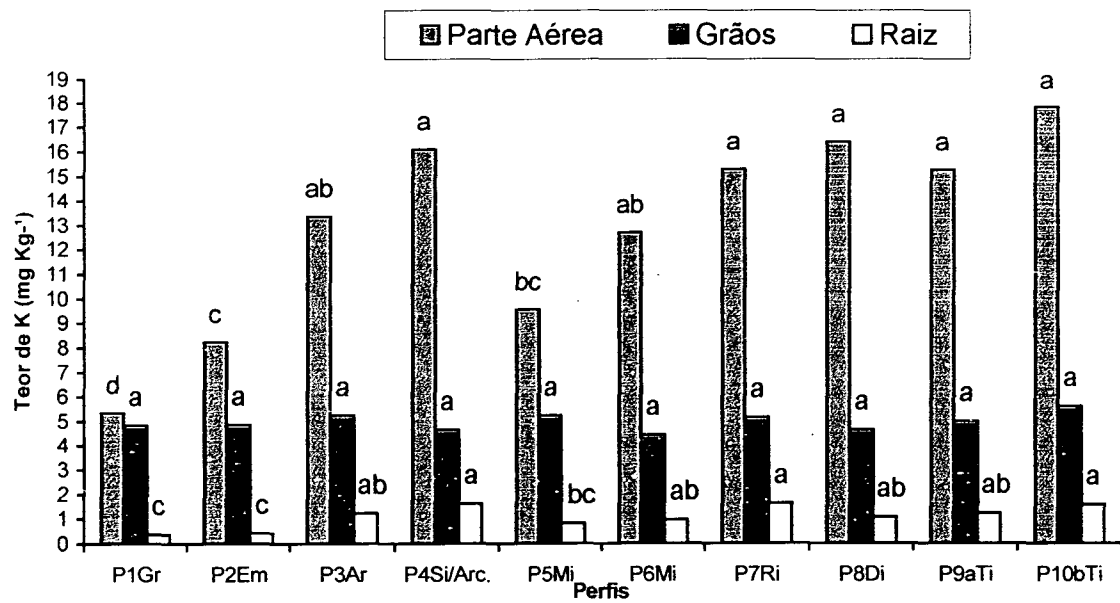
Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
BLOCO	2	0.9891354E-01	0.4945677E-01	7.087	0.00537
TRAT	9	1.560899	0.1734332	24.851	0.00000
Resíduo	18	0.1256185	0.6978806E-02		

Coeficiente de Variação = 8.231

T e s t e s d e C O C H R A N e B A R T L E T T

Variáveis	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)	Valor
(P=0.01)				
TRZ	Cochran	0.2302	0.445	0.536
TRZ	Bartlett	11.5596	16.919	21.666

GRÁFICO 5A - Comparação entre médias (Tukey 0,01) dos teores de potássio nas diferentes partes das plantas



QUADRO 10A - Análise de variância do conteúdo de potássio na parte aérea da planta (CKPA)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
BLOCO	2	1.769258	0.8846288	5.016	0.01856
TRAT.	9	160.5735	17.84150	101.164	0.00000
Resíduo	18	3.174517	0.1763621		

Coeficiente de Variação = 3.615

T e s t e s d e C O C H R A N e B A R T L E T T

Variáveis	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)	Valor
(P=0.01)				
CKPA	Cochran	0.3457	0.445	0.536
CKPA	Bartlett	10.8174	16.919	21.666

QUADRO 11A - Análise de variância do conteúdo de potássio nos grãos da planta (CKGR)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
BLOCO	2	0.1797719E-01	0.8988594E-02	0.247	*****
TRAT.	9	3.623175	0.4025750	11.084	0.00001
Resíduo	18	0.6537962	0.3632201E-01		

Coeficiente de Variação = 3.525

T e s t e s d e C O C H R A N e B A R T L E T T

Variáveis	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)	Valor
(P=0.01)				
CKGR	Cochran	0.6247	0.445	0.536
CKGR	Bartlett	21.4063	16.919	21.666

QUADRO 12A - Análise de variância do conteúdo de potássio nas raízes da planta (CKRZ)

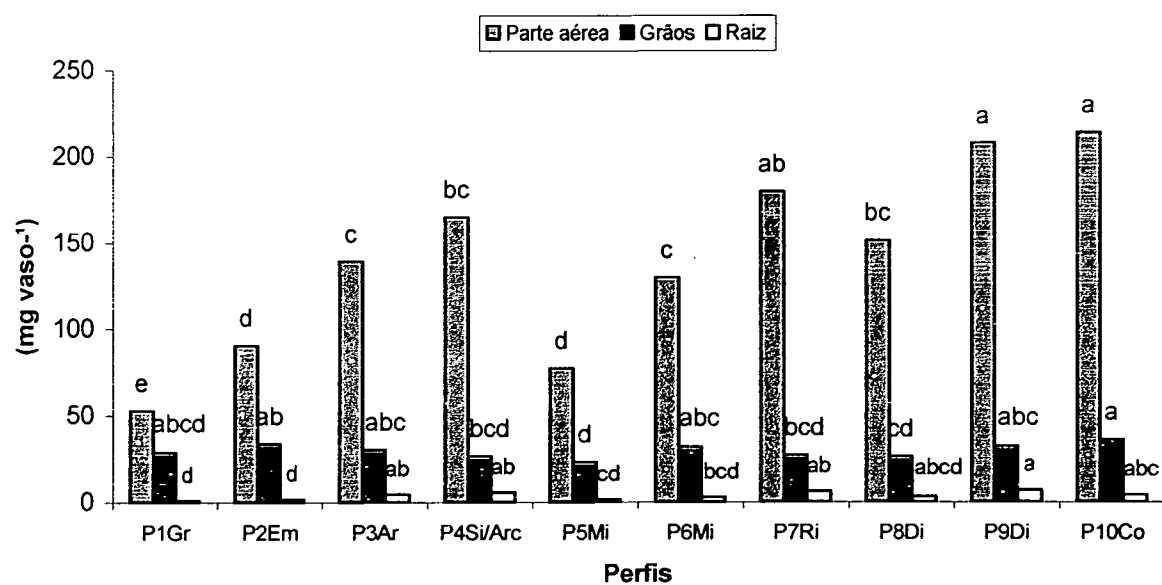
Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
BLOCO	2	0.1253906E-01	0.6269531E-02	0.110	*****
TRAT.	9	8.933074	0.9925638	17.391	0.00000
Resíduo	18	1.027342	0.5707455E-01		

Coeficiente de Variação = 13.164

T e s t e s d e C O C H R A N e B A R T L E T T

Variáveis	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)	Valor
(P=0.01)				
CKRZ	Cochran	0.3783	0.445	0.536
CKRZ	Bartlett	14.3634	16.919	21.666

GRÁFICO 6A - Comparação entre médias (Tukey 0.01) dos conteúdos de potássio das diferentes partes da planta



QUADRO 13A - Análise de variância do conteúdo de potássio na planta inteira (CKPI)

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
BLOCO	2	0.7225412E-02	0.3612706E-02	5.077	0.01785
TRAT	9	0.7058756	0.7843062E-01	110.220	0.00000
Resíduo	18	0.1280847E-01	0.7115815E-03		

Coeficiente de Variação = 1.205

Testes de COCHRAN e BARTLETT

Variáveis	Nome do Teste	Valor Calculado	Valor (P=0.05)	Valor (P=0.01)
CKPI	Cochran	0.3941	0.445	0.536
CKPI	Bartlett	7.1657	16.919	21.666

GRÁFICO 7A - Comparação entre médias (Tukey 0.01) dos conteúdos de potássio da planta inteira

